

ROOM ACOUSTIC DESIGN WITH THE IMAGE THEORY IN 2D

Benoit Beckers & Luc Masset

MANUALE D'USO

[Traduzione ed esempi: Marco Facondini]

INTRODUZIONE

Radit2d è un programma interattivo di progettazione acustica, veloce, essenzialmente grafico, facile da usare e da interpretare.

Per ottenere queste caratteristiche, abbiamo limitato i calcoli allo stretto necessario per consentire un disegno "sensibile" alla forma dell'involucro progettato ed una sintesi della scelta dei materiali a seconda dei criteri acustici definiti dall'utente.

Il programma funziona con una sorgente sonora puntuale di emissione sferica (omnidirezionale), un disegno in forma di poligono (chiuso) proiettato nel piano di studio, ed una mappa delle curve dei livelli sonori delimitata da un quadrilatero.



FIGURA 1. SORGENTE, MAPPA E PERIMETRO DELLA SALA

Il campo sonoro è tridimensionale, ma lavorando solo in due dimensioni si facilita la progettazione e si semplificano ed accelerano i calcoli.

A seconda dell'intenzione dell'utente, il disegno rappresenta arbitrariamente, una pianta, una sezione od un qualsiasi luogo all'aperto.

Grazie ad una speciale funzione, è possibile aggiustare i risultati di due proiezioni della stessa sala per ottenere i valori tridimensionali corrispondenti in alcuni punti selezionati, quando la forma del disegno lo consente (pareti laterali verticali, assenza di doppie inclinazioni).

Dopo ogni modifica effettuata dall'utente, il programma ritorna a calcolare il suono diretto e la prima riflessione su ciascuno dei segmenti del poligono che rappresenta l'ambiente progettato. Il calcolo viene eseguito sulla mappa in corrispondenza dei nodi della griglia, che corrisponde ad una matrice quadrata la cui dimensione definisce la precisione delle curve di livello.

IL SUONO DIRETTO.

Dipende solamente dalla sorgente di emissione, dai confini del disegno ed eventualmente dagli ostacoli che ne impediscono la propagazione ("eliminazione delle parti nascoste").



FIGURA 2. IL SUONO DIRETTO

IL SUONO RIFLESSO.

Per comprendere il metodo delle "sorgenti immagine", è utile ricorrere all'analogia con la luce. Immaginate una stanza interamente costituita di specchi piani. Al posto di una sorgente sonora accendiamo una candela. Da qualsiasi punto della stanza noi vedremo un gran numero di candele che sono tutte immagini della candela unica e vera, che si riflette negli specchi.

Ognuna di queste immagini sembra avere una collocazione precisa, che corrisponde esattamente al punto simmetrico occupato dalla candela reale riflessa dallo specchio.

Per ottenere la stessa situazione visiva, togliamo gli specchi e collochiamo al loro posto un numero di candele uguale a prima e nelle posizioni precedentemente occupate dalle loro immagini. Adesso dobbiamo solo tener conto della "qualità" degli specchi, ovvero determinare il fattore di intensità corrispondente all'assorbimento dei rispettivi specchi.

La cosa interessante è che la nuova situazione visiva, sebbene modificata, apparirà come prima. Naturalmente, in presenza di specchi diversi si verificano riflessioni multiple (immagini di immagini) ma il nostro programma contempla solo la prima riflessione, che di solito è sufficiente per il design: le altre riflessioni sono indubbiamente essenziali per valutare il riverbero, tuttavia quello che ci interessa qui è lo studio della forma dell'ambiente, ottenuta senza rallentamenti di calcolo che ne impedirebbero inutilmente l'interpretazione immediata.



FIGURA 3. IL SUONO RIFLESSO

Per calcolare il campo riflesso, Radit2d esamina in successione ogni segmento del disegno, cercando l'immagine sorgente ed eliminando le "parti nascoste" (un segmento può essere parzialmente o completamente mascherato da altri, a seconda della forma del contenitore e la posizione della sorgente).

Quindi traccia i due raggi limite di emissione della sorgente immagine che, sulla mappa, delimitano la zona interessata dalla riflessione considerata.

In questa zona il programma calcola, per ciascun nodo, il contributo dell'immagine rispetto al livello sonoro, tenendo conto dell'assorbimento della parete corrispondente.



FIGURA 4. SCHEMA DI BASE

MAPPA E DIAGRAMMI

Oltre ai livelli della mappatura della curva, che consente di conoscere le variazioni del livello sonoro nelle zone occupate dal pubblico, il programma può presentare un diagramma polare, molto più dettagliato, però riferito a un unico punto: quello che occupa uno spettatore particolare.

Con la pratica si imparerà a passare abilmente dalla mappa ai diagrammi e viceversa: la mappa permette di individuare in quali posizioni sono ottenibili grafici e diagrammi interessanti che, a loro volta, aiutano a capire le caratteristiche della mappa.

I diagrammi mostrano ulteriori informazioni (livelli della sorgente, livello sonoro, ritardo e indirizzo di ogni riflessione) con le quali può essere affinata l'analisi acustica: focalizzazioni, presenza di echi, esame delle riflessioni laterali ...



FIGURA 5. DIAGRAMMA POLARE

IMPARARE RADIT2D

Questa guida si compone di tre parti per l'utilizzo del programma: funzioni, analisi e disegno.

Il primo è didattico in quanto, grazie al funzionamento interattivo, l'utente impara ad usare i controlli del programma per ogni manipolazione della situazione acustica.

Si consiglia pertanto di leggere con molta attenzione e mettere in pratica la prima parte, per padroneggiare pienamente i controlli, la qualità delle immagini e le nozioni acustiche di base. In particolare il dominio della barra dei colori ed un uso intelligente della precisione della mappa sono essenziali per interpretare i risultati e lavorare velocemente per ottenere immagini significative. È inoltre importante imparare a capire quando spostare i diagrammi polari e come limitarsi, in uno studio, a poche immagini in cui si condensano le principali informazioni evitando inutili grafici di scarso interesse.

Il secondo uso del programma è l'analisi, grazie alla funzione "scan", che consente di esaminare qualsiasi pianta o sezione tratte da pubblicazioni di architettura o di acustica. (...)

Gli esempi e gli esercizi presenti nella seconda parte di questa guida, permettono all'utente di acquisire rapidamente l'esperienza necessaria.

Il terzo uso del programma, il disegno, è il principale. La terza parte di questa guida, spiega un progetto completo.

A partire da questo, l'utente può facilmente creare nei propri progetti, un soffitto acustico, la forma di un ambiente o l'orientamento di una serie di riflettori.

Per queste attività Radit2d è uno strumento professionale molto efficiente. Per la sua qualità grafica, si possono anche prendere appunti o schizzi per l'acustica. Gli autori non chiedono nulla in cambio, se non eventuali commenti ed osservazioni per migliorare il software.

PARTE PRIMA - LE FUNZIONI

INIZIO

Quando si apre il programma definiremo l'area sulla quale intendiamo lavorare: la forma iniziale di set-up avrà l'area di un quadrato con i valori in metri.



FIGURA 6. DEFINIZIONE DELL'AREA DI LAVORO

FIGURA 7. SCHERMATA INIZIALE

All'interno dell'area di lavoro ci sono diversi elementi; ciascuno di questi ci aiuterà a studiare il comportamento acustico di un dato ambiente. Identifichiamoli:

- **Quadrato esterno**: è costituito da quattro segmenti e quattro vertici. I segmenti rappresentano i confini del sito studiato. Tali limiti possono essere dei solidi (pareti, muri, tramezzi) o aperture (porte, finestre). Per cambiare questo quadrato basta spostare singolarmente i vertici in qualsiasi direzione. In seguito impareremo ad aggiungere dei vertici per adattare questo quadrato alla pianta o alla sezione studiata.

- **Quadrato interno** (rosso) rappresenta il pubblico. I colori che lo riempiono (al momento di colore rosso) formano la mappa, che ci informa circa la situazione acustica.

- Cerchio rosso: rappresenta la sorgente sonora (oratore, attore, musicista, ...).

- **Stella gialla**: rappresenta il ricevitore: un punto per il quale, attivando il comando "Polar", si ottiene una descrizione molto dettagliata della situazione acustica.

- *Linee tratteggiate*: sono i limiti dei raggi che determinano la zona di azione nella mappa per ciascuna sorgente immagine (al momento, solo una di queste sorgenti è visibile perché il quadrato di default è una figura semplice!).

- **Coordinate degli assi**: sono due linee che rappresentano la X - Y. Inizialmente è visualizzato lungo l'asse orizzontale e verticale e coincide con il bordo del quadrato esterno a sinistra.

Si ricorda che in Radit2d, la sorgente sonora è interamente definita dalla sua posizione sul piano di studio e dal livello delle emissioni (in decibel). La forma del disegno è facilmente e liberamente modificabile moltiplicando e spostando i vertici del poligono che la rappresenta. La mappa è definita dalla posizione dei quattro vertici del quadrilatero che la racchiude.

TOOLBAR

GRID: imposta l'intervallo tra i nodi della griglia sullo sfondo; quando lo "snap" è attivo è possibile seguire i *passi* della griglia per lo spostamento della sorgente e del ricevitore e per facilitare il controllo delle posizioni, utile per ambienti di grandi dimensioni.

Quando viene premuto (tasto destro del mouse) chiede d'impostare un valore in metri che definiscono i passi della griglia. La griglia può essere visualizzata o meno da "objects".

SNAP: permette di *forzare* tutti gli spostamenti sulla griglia. Disattivando questo comando i movimenti sono liberi, il che riduce la precisione nel posizionamento e dimensionamento. In un disegno preciso si dovrebbe sempre utilizzarlo.

Quando il lavoro richiede una maggiore, precisione si può ridurre la "griglia", cosa consigliabile prima di iniziare un disegno. Per un intervento molto preciso si dovrebbe iniziare con un valore di 0,4 metri, che poi può essere ridotto a 0,2 e 0,1 metri (il valore minimo consentito). Ma se teniamo il valore iniziale di 0,5 metri, non possiamo ridurre oltre 0,25 metri perché il minimo intervallo non può essere definito con due cifre decimali.

CONSTRAIN: consente di forzare lo spostamento di ogni vertice del contenitore, sulla linea retta che unisce i suoi due vicini. Questa funzione è utile quando si vuole tagliare in due un stessa parete per significare un cambiamento del materiale o la presenza di una apertura.

OBJECT: viene attivato col tasto destro del mouse. Questa funzione abilita/disabilita la griglia (grid), le sorgenti immagine (images), i limiti dei raggi (radius), gli assi X-Y (axes), il ricevitore (receptor) e i confini dell'area per il pubblico (audience limits). Il cambiamento riguarda solo l'aspetto dell'immagine e serve in particolare per cancellare dall'immagine le informazioni non necessarie.

MEASURE: misura le coordinate di un punto specifico, definito dalle posizioni degli assi.

HISTORY: consente di tornare indietro, ovvero di eliminare alcune azioni (undo). L'ultima azione si trova in cima alla lista. Scendendo è possibile tornare allo stato iniziale.

ZOOM: ingrandisce la schermata per visualizzare le sorgenti immagine. Premendo nuovamente il pulsante, si rivisualizza l'area di lavoro.

VIEW: permette di estendere l'area di lavoro quando richiesto dallo sviluppo del disegno. Attivando questo pulsante viene visualizzata l'area di lavoro: Il cursore aumenta o diminuisce il disegno. Quando si premere il tasto "M" si riduce il tutto alla dimensione minima comprendente tutto; premendo "C" si posizione il disegno al centro.

UTILS: con il tasto destro del mouse, è possibile accedere al menu con le seguenti opzioni. Ci sono due programmi di utilità:

- "dB SUM": si inseriscono i valori da aggiungere separandoli con la barra spaziatrice e premendo "OK" si visualizza la somma.

- II "dB DECREASE" permette di valutare l'attenuazione di una emissione sferica in funzione della distanza. Il calcolo mostra il livello di emissione, la distanza e la diminuzione del valore del livello di rumore riportato su un grafico.

- Una funzione per i disegni geometrici. Con "geometric shapes" può essere creata un'area di lavoro con forme geometriche elementari: cerchio, ellisse o parabola.

- Uno strumento di animazione "animation" (molto semplice ed intuitivo, non descritto in questo manuale).

N.B. Utile questo set-up che permette di salvare, a colori, tutti i diagrammi polari dell'animazione.

POLAR: Crea un grafico polare che descrive il modo in cui il ricettore riceve il suono.

SCAN: serve per *ridisegnare* un'immagine JPEG acquisita in precedenza.

PRINT: crea un'immagine dal grafico dello schermo e lo salva in un file per poi essere stampato da un altro programma. È consigliabile pulire l'immagine da informazioni superflue, utilizzando il menù "objects".

Il formato di output è il solito JPEG che può essere importato da numerosi programmi risultando molto utile per migliorare la presentazione finale del lavoro.

LOAD: apre i file specifici del programma con estensione "Ac"...

SAVE: salva il progetto sviluppato nel formato "Ac"...

BAR DISPLAY

A destra dell'area di lavoro abbiamo, dall'alto al basso, un menù superiore (all, direct, wall 1, wall 2 etc.), una barra dei colori e infine tre indicatori (reflections, decibels, direct): tutti servono per definire le informazioni per la mappatura acustica dell'area di lavoro.



FIGURA 8. STRUMENTI DI VISUALIZZAZIONE

MENÙ SUPERIORE E INDICATORI

I primi due indicatori in basso (**reflections e decibels**) dipendono uno dall'altro e consentono di rappresentare sulla mappa o il numero di riflessioni che raggiungono gli ascoltatori (stato iniziale) oppure i livelli sonori in decibel. Il primo caso è di uso poco frequente e, generalmente, conviene passare direttamente ai decibels come faremo nelle seguenti illustrazioni.

Nella fig. 9, la mappa mostra il campo sonoro risultante dalla somma delle prime quattro riflessioni dovute alle quattro pareti perimetrali. Infatti, il menu in alto dice: "all" (tutti), il che significa che i contributi di tutte le pareti vengono aggiunti sulla mappa.

In questo caso, e solo in questo caso, (con il menù impostato su "all" in alto e decibels in basso) si può attivare il terzo indicatore **direct** per aggiungere il contributo del suono diretto sulla mappa. (vedi fig. 10).

Qui notiamo che la mappa si modifica leggermente anche se, in genere, il cambiamento è molto più brusco. Se modifichiamo il menù in alto, il fatto che il terzo indicatore è attivato o meno è irrilevante, dal momento che noi vogliamo studiare i singoli contributi delle pareti.

N.B. Il numero di riflessioni rappresentate sulla mappa dipende dal numero di pareti (e quindi delle prime riflessioni corrispondenti) che formano l'ambiente di studio. Per questo il quadrilatero di "default" di Radit2d mostra solo quattro riflessioni.



FIGURA 9. CAMPO SONORO RISULTANTE DELLE PRIME 4 RIFLESSIONI DELLA SALA



FIGURA 10. CAMPO SONORO RISULTANTE DELLE PRIME 4 RIFLESS. + IL SUONO DIRETTO



FIGURE 11, 12, 13 e 14. CAMPO SONORO RISULTANTE DELLE RIFLESSIONI PRODOTTE DA CIASCUNA PARETE DELLA SALA

Con il pulsante sinistro del mouse, possiamo attivare nel menu in alto l'indicazione "direct": la mappa mostra così solo il suono diretto, con la sua caratteristica attenuazione in cerchi concentrici: <u>questo indicatore non considera il contributo delle pareti</u> (vedi fig. 15).



FIGURA 15. CAMPO SONORO RISULTANTE DEL SOLO SUONO DIRETTO

Si può quindi attivare ciascuna parete per visualizzare la riflessione generata - in decibel in questo caso - (vedi Figg. 11, 12, 13 e 14). Se attiviamo la funzione "zoom", vedremo la sorgente immagine coinvolta, ovvero quella che genera la riflessione osservata.

Un modo più pratico per visualizzare il comportamento di ciascun parete è quello di cliccare direttamente la parete col pulsante sinistro del mouse.

Nota: naturalmente, cambiando l'alfa di una parete, l'energia della riflessione sarà ridotta in percentuale.

LA BARRA DEI COLORI

È probabilmente la funzione più importante, la cui gestione ha bisogno di una certa pratica dal momento che definisce la scala della mappatura ed il significato dei suoi colori. I colori sono associati a valori numerici che indicano il numero di riflessioni o del livello sonoro in dB, secondo l'attivazione o meno dell'indicatore inferiore (reflections/decibels).

Con il tasto destro del mouse sulla barra dei colori, c'è un menù con quattro opzioni: "color", "gray", "CL auto", "CL manual". Le opzioni "color" e "gray" consentono di scegliere una scala di colori o una scala di grigi. La seconda è talvolta più facile da analizzare nei casi complessi e permette buone stampe in bianco e nero (più economiche).

Le opzioni "CL auto " e "CL manual" definiscono automaticamente o manualmente, la scala di valori numerici.

Quando l'opzione "CL auto" è attiva, il limite minimo e massimo della scala vengono assegnati dal programma: corrispondono ai livelli estremi calcolati sulla mappa. Ciò significa che tutti i colori appaiono sulla mappa, col vantaggio di visualizzare un'immagine molto dettagliata del campo acustico.

Ma questo significa anche che la scala si modifica continuamente ogni volta che cambiamo qualcosa. Pertanto, colori simili, corrispondono a differenti valori di volta in volta osservati e non hanno alcun senso proprio [si perde la visualizzazione assoluta].

Così non è possibile confrontare due immagini diverse e non possiamo trarre alcuna conclusione dai colori mostrati per il caso studiato ...

N.B. In pratica cambiano i valori numerici ma non i colori. In tal modo non è possibile un confronto "visivo" dello stato acustico della medesima situazione.

Se attiviamo l'opzione "CL manual", vediamo un riquadro con entrambe le soglie limite. Senza toccarlo, si preme direttamente il pulsante "OK" (vedi fig. 17). La mappa non è modificata, poiché i valori di scala sono uguali. Ma adesso ci troviamo in modo manuale, fino a quando non premiamo l'opzione "CL auto".

In questa modalità i valori limite non si modificano anche se apriamo un nuovo progetto con il tasto "load" oppure se torniamo al caso iniziale con la " history ". Ora i colori assumono un significato e corrispondono sempre agli stessi valori; così tutte le immagini che produciamo possono essere confrontate reciprocamente e *lette* correttamente attraverso il linguaggio visuale dei colori.



FIGURA 16. MENÙ DELLA BARRA DEI COLORI

ESEMPIO 1

- Avviare il programma. (Settare l'opzione "decibels").

- Mettere in modalità automatica e poi in modalità manuale senza modificare nulla; scegliere "OK" (vedi fig. 17).

Così abbiamo impostato lo stato iniziale come settaggio di riferimento perché i limiti di scala sono ora bloccati sui valori riportati nella modalità automatica in questa posizione precisa (impostiamo: 71,1 - *barra spaziatrice* - 81,4), che corrispondono alla somma delle prime quattro riflessioni dello stato iniziale. Solo in questo caso compaiono, per forza, tutti i colori nella mappa.



FIGURA 17. DEFINIZIONE DELLA SCALA DEI VALORI NUMERICI E SUA CORRISPONDENTE RAPPRESENTAZIONE CON I COLORI

Attivare poi il terzo indicatore per passare da decibels a decibels + direct.
<u>Siamo ancora in modalità manuale con i valori: 71,1 dB e 81,4 dB.</u>
Ora sì che vediamo un cambiamento importante (figg. 18 e 19).



FIGURA 18. SOMMA DELLE PRIME QUATTRO RIFLESSIONI DEL SETTAGGIO INIZIALE (71.1 dB e 81.4 dB)





La zona rossa aumenta notevolmente e l'ultimo grado mappa della scala dei blu (blu scuro) scompare. In precedenza, per eseguire la stessa operazione ma in modalità automatica, la mappa era cambiata di poco (vedi Figg. 9 e 10), perché la scala era sempre adattata per visualizzare tutti i colori. Solo adesso, insomma, possiamo *sentire* l'importanza del contributo diretto, che è sempre più forte di qualsiasi riflessione.

(Ricordo che l'area colorata rappresenta l'area per gli spettatori che è sempre più piccola della sala per via degli accessi in sala, corridoi, scale, etc.)

- Nell'area di lavoro possiamo attivare, in successione, le quattro pareti. Vediamo che solo il muro più vicino alla sorgente sonora produce una mappa con vari colori (Fig. 20) mentre i rimanenti tre muri producono contributi trascurabili (figg. 21, 22 e 23).



FIGURA 20. CONTRIBUTO DELLA RIFLESSIONE DELLA PARETE POSTERIORE ALLA SORGENTE



FIGURE 21, 22 e 23. CONTRIBUTO INDIVIDUALE (TRASCURABILE) DELLE RIMANENTI PARETI 1, 2 E 3

Questo significa che, nella somma delle quattro riflessioni che costituisce il riferimento per la scala corrente, è veramente importante solo la riflessione sul muro vicino (quello alle spalle della sorgente) perché la sua energia è molto superiore alle altre tre.

ESEMPIO 2

- Premere il pulsante destro del mouse sulla sorgente e portarla al centro della figura.

Notare che siamo in "all" nel menù in alto a destra (Fig. 24).

- Adesso attiviamo il "direct" sempre dal menù in alto a destra (Fig. 25).

Sulla mappa ora appaiono i cerchi concentrici del solo suono diretto.

- Nella barra del colore avviamo la modalità automatica e successivamente quella manuale: così visualizziamo il riferimento del suono diretto della nostra scala a colori.

- Selezionando alternativamente le quattro pareti, scopriamo che la mappa diventa blu scuro: il contributo di ciascuna parete è quasi trascurabile rispetto al suono diretto.

- Disattivando il terzo indicatore (direct) e premendo il tasto menù "all" in alto, si vede che anche la somma delle quattro pareti è apparentemente trascurabile (così facendo vediamo solo il contributo delle riflessioni delle quattro pareti in decibel).



Example automatic develop with the fragge theory (20) (corr - marging level (20) (cor - marging level (20) (cor

FIGURA 24. LIVELLO SONORO TOTALE (DIRETTO + RIFLESSIONI)

FIGURA 25. LIVELLO SONORO DIRETTO

- Ma ora attiviamo il terzo indicatore. Passando alternativamente dall'opzione "all" (fig. 24) all'opzione "direct" (fig. 25), possiamo confrontare e valutare visivamente il suono diretto con il suono totale (diretto + riflessioni).

Vediamo che la mappa è divisa in due zone: la zona centrale (rosso-giallo) nell'area della sorgente (che cambia poco comparando le due immagini) mentre la zona esterna (in blu) dove il suono diretto è già molto attenuato, aumenta in modo significativo: <u>abbiamo</u> <u>appena individuato la zona del "campo diretto" e quella del "campo riflesso</u>".

Così facendo i valori di "all" ovviamente aumentano perché sommano i due campi, ovvero con la sorgente diretta e poi questa più le riflessioni delle pareti.

Questa è una distinzione fondamentale per l'acustica della sala. In ogni spazio costruito, in cui ci si trova molto vicino alla sorgente sonora, sentiamo solo il suono diretto.

Le caratteristiche acustiche dell'ambiente, in questo caso, non sono importanti perché siamo totalmente immersi nel campo diretto.

Ma se ci si allontaniamo dalla sorgente e ci avviciniamo alle pareti della sala, il suono diretto si attenua e noi cominciamo a sentire le riflessioni o, per così dire, "sentiamo l'architettura della sala" ... Questo è il campo riflesso.

Come si vede un buon uso del colore richiede molto esercizio, tuttavia è indispensabile per cominciare a capire il programma e, attraverso questo, il suono stesso.

Un'opzione per visualizzare diversamente i risultati è quella di modificare manualmente i valori limite della scala. Questo può essere utile per concentrare tutti i dettagli della mappa su un'area particolare. Così nell'esempio precedente, possiamo abbassare il valore più elevato per meglio vedere la mappa nella parte esterna.

<u>Tuttavia, è importante notare che i colori della scala non hanno un valore assoluto.</u> <u>Il programma non può essere usato per calcolare i valori reali, ma solo per confrontare le proposte di ottimizzazione.</u>

Permette di perfezionare un'idea, ma non può dire se quest'idea sia buona. È molto più incompleto di qualsiasi programma di simulazione acustica evoluto, tuttavia nessuno di questi, allo stato, riesce ad essere minimamente affidabile e poi sono lenti e difficili. (P.S. Queste note l'autore le scriveva nel 2003).

Radit2d è stato alleggerito ad ottimizzato al meglio per essere veloce, interattivo e facile da comprendere. Qui risiede la sua originalità e la sua qualità: lo scopo è quello di acquisire le basi per progettare soluzioni che, sulla base dell'esperienza, miglioreranno l'acustica di un ambiente.

Un impiego interessante di questa opzione è il seguente: se più utenti stanno sviluppando i propri progetti partendo dal medesimo disegno, chiediamo a tutti di fissare la loro scala agli stessi valori (ad esempio: tra 70 dB e 90 dB). Essi possono quindi confrontare tra loro tutte le immagini ed i diversi risultati ottenuti.

AREA DI LAVORO

Si possono apportare varie modifiche nella stessa area di lavoro premendo il pulsante destro o sinistro del mouse sugli elementi in esso contenuti.

IL DISEGNO

È possibile modificare il disegno in tutta libertà agendo sulle pareti o sui vertici in aderenza ad esse.

- **Pareti**: cliccando col tasto destro sopra una parete (selezionata col tasto sinistro) appare il suo menù. Nelle ultime tre linee di questo menù si hanno le informazioni della singola parete: lunghezza, angolo e assorbimento.

Nelle prime sei linee appaiono seguenti funzioni:

- **Split Wall**: taglia il muro in due segmenti uguali. Questo è il modo comune per aggiungere dei vertici nel poligono disegnato; l'operazione può essere ripetuta tutte le volte che è necessario.

- Delete vertex: è l'inverso di quanto sopra; elimina i vertici del muro selezionabili tra quelli di colore blu o rosso e così il vertice selezionato scompare.

- **Simmetry**: duplica la parte del disegno secondo l'asse di simmetria prescelto; si genera così una forma nuova mentre la precedente scompare.

È una funzione molto utile perché ci consente di disegnare solo metà

ambiente che, se simmetrico, possiamo copiare.

(Si ricorda che con il menù History possiamo ritornare a qualunque situazione precedente in caso di errori).



FIGURA 26. MENÚ OPZIONI DELLE PARETI DELLA SALA



FIGURA 27. SPLIT WALL







FIGURA 29. SIMMETRY

- **Change absorption**: modifica l'assorbimento acustico da 0% (parete perfettamente riflettente, impostando 0% di assorbimento) oppure al 100% (parete perfettamente assorbente, impostando 100% di assorbimento). Con un assorbimento del 100%, l'aspetto della parete si modifica da linea continua a linea tratteggiata; è un modo per rappresentare un'apertura (porta, finestra, ...). Se il valore di assorbenza è seguito dal simbolo "/", questo valore viene applicato a tutte le pareti del disegno.

- Vertici: quando si spostano i vertici, con il pulsante sinistro del mouse, in alto appaiono le informazioni di lavoro: le coordinate del vertice, la lunghezza delle due pareti contigue e l'angolo che formano con l'orizzontale.

(Quando si aggiustano questi vertici, ma anche per l'intero disegno, è sempre consigliabile utilizzare lo "snap" per avere una maggiore precisione).

LA MAPPA

I quattro vertici che la definiscono possono essere spostati.

Impossibile però aggiungere dei vertici perché la mappa corrisponde ad una matrice che deve rimanere quadrilatera; però è possibile sovrapporre due vertici per dare l'apparenza di una mappa triangolare. Cliccando a destra sulla mappa, è possibile accedere al menù, che consiste di cinque righe.

L'ultima ci dà l'area della mappa (esatta se la mappa è identificata con il quadrilatero che la racchiude, approssimata negli altri casi). Nelle prime quattro linee appaiono le seguenti funzioni:



FIGURA 30. SPOSTAMENTO DEI VERTICI



FIGURA 31. MENÚ DELLA MAPPA

- **Precision**: determina la qualità della mappa. Conviene aumentarla per migliorare la visualizzazione, tuttavia così il tempo di calcolo cresce esponenzialmente ed è consigliabile trovare un buon compromesso (200, per esempio su una macchina veloce).

- **Include room**: converte il quadrilatero della mappa in un rettangolo che include tutto il disegno. Si noti che il valore indicato in basso come "audience area" riguarda sempre il quadrilatero che pertanto si modifica di conseguenza.

- Reduce size: converte il quadrilatero in un rettangolo più piccolo.

Questa operazione consente di risolvere un problema particolare: quando un vertice della mappa si sovrappone ad un vertice del disegno, possiamo muoverci solo con il mouse. In questo caso possiamo ridurre dimensioni della mappa per riprendere il controllo dei suoi vertici senza modificare il disegno impostato.





FIGURA 32. INCLUDE ROOM

FIGURA 33. REDUCE SIZE

SORGENTE SONORA

La sorgente sonora si sposta con il tasto sinistro del mouse. Con il destro, è possibile definire numericamente la sua posizione e modificarne il livello di emissione.

IL RICETTORE

Il ricettore (o ricevitore) si sposta con il tasto sinistro del mouse. Con il destro è possibile definirne numericamente la posizione ed un valore di spostamento, "shift" (vedi fig. 35).

Lo "shift" è un parametro particolare, che necessita di ulteriori spiegazioni. Diciamo subito che esso riguarda solo i diagrammi polari (non le mappe dell'area lavoro) e che permette di passare alla terza dimensione.

Nel caso di una pianta, la terza dimensione, l'altezza, non è considerata dalla mappa: pertanto questa è corretta solo se la sorgente e il ricevitore sono situati alla stessa altezza. Se non è questo il caso, abbiamo bisogno di introdurre la differenza di altezza tra la sorgente ed il ricevitore (che chiameremo "shift") per correggere i calcoli.

Poiché tutte le superfici dell'involucro (disegno) sono necessariamente perpendicolari al terreno (sono proiettate su questo come segmenti di una retta), il dislivello è ottenuto con la semplice applicazione del teorema di Pitagora (non importa se il ricettore è allo stesso livello, sopra o sotto alla sorgente) quello che interessa è solo la differenza in altezza tra i due. <u>Per questa ragione il valore di "shift" interessa sempre il ricevitore.</u>

<u>Il cambiamento risultante</u> - generalmente poco importante - <u>non pregiudica la mappa, ma il</u> <u>diagramma polare</u>, cosa che rende questa operazione molto interessante: <u>la somma dei</u> <u>livelli sonori corrispondenti ai punti definiti sulla pianta, corrispondono ai punti stessi della</u> <u>sezione.</u>

Naturalmente lo "shift" può essere applicato anche alla sezione (questa volta corrisponderà alla differenza di profondità). Così, si ottiene il valore tridimensionale del livello sonoro riflesso.

Questo calcolo può essere effettuato solo se le pareti laterali del disegno sono verticali e se nessuna delle sue superfici presenta una doppia pendenza.

Questa restrizione ammette alcuni accomodamenti.

Infatti, se la parete di fondo è obliqua, si considererà come parte del tetto e non del lato. Analogamente, se le pareti laterali sono oblique ed il fondo è verticale, si studierà un taglio parallelo al fondo invece che nella sezione.

Comunque sia con Radit2d, la sala deve essere essenzialmente progettata in pianta ed in sezione per fare in modo che l'analisi sia facile ed utile.

Nella terza parte, con la "campana acustica", sarà mostrato un esempio dettagliato per l'uso dello "shift".







FIGURA 35. DEFINIZIONE DELLA POSIZIONE DEL RICETTORE E DELLO SHIFT

DIAGRAMMA POLARE

Per il recettore identificato nella zona di lavoro con una stella, il diagramma polare mostra il risultato dei calcoli del programma in modo molto più dettagliato di quello della mappa. Spostando la stella, possiamo estrarre tutti i diagrammi polari che vogliamo per poi confrontarli.

Cliccando su una riflessione singola con il pulsante destro del mouse, si accede ad un menù diviso in tre parti. La prima riga in alto, mostra il livello sonoro della singola riflessione osservata Lp, (in minuscolo, da NON confondersi con L_P in maiuscolo della parte superiore del grafico che rappresenta l'energia di TUTTE le riflessioni), l'angolo di arrivo rispetto al suono diretto (angle), il ritardo con lo stesso (delay) e, nel secondo riquadro, il numero della parte indagata ed il relativo assorbimento acustico.

I primi tre dati sono molto importanti perché ci informano riguardo la singola riflessione.



COMPONENTI DEL DIAGRAMMA POLARE

FIGURA 36. I COMPONENTI DEL DIAGRAMMA POLARE



FIGURA 37. MENÚ DEL DIAGRAMMA POLARE

N.B. Fare sempre attenzione a questi due parametri: $L_p =$ livello sonoro della singola riflessione (la "p" al pedice è minuscola) $L_P =$ livello sonoro totale di tutte le riflessioni (la "P" al pedice è maiuscola)

Con la funzione "print" possiamo visualizzare sullo schermo il contributo energetico di ogni singola riflessione: nell'esempio sono riportate le quattro riflessioni presenti con i rispettivi valori.

Radit2d Manuale_ITA



LA FUNZIONE "PRINT" DEL DIAGRAMMA POLARE

Livello sonoro: come esercizio sommiamo i livelli sonori di tutte le prime quattro riflessioni del grafico polare usando la funzione "dB sum" della calcolatrice nel menù "utils". Il risultato deve corrispondere al valore di Lpr, ed anche a Lp se vi aggiungiamo il contributo diretto.

Esempio di calcolo: 66.1+63.4+66.1+63.4 = 71 dB (Lpr = energia complessiva delle quattro riflessioni). Ora, se all'energia delle riflessioni (Lpr) aggiungiamo il contributo diretto (Lpd) avremo: 71+66.7 = 72.4 dB (L_P = energia totale delle quattro riflessioni + energia diretta).

Angolo: Quando il caso studiato corrisponde ad una pianta, l'angolo è orizzontale ed indica se la riflessione è molto laterale (angolo > 45 °) o meno. Questo è un parametro molto importante per la progettazione acustica delle sale contemporanee.

Delay: Corrisponde alla differenza tra il suono diretto ed il suono riflesso diviso per la velocità di propagazione sonora nell'aria (340 m/s). Questo parametro aiuta a prevedere la presenza di fastidiosi fenomeni di eco: per l'intelligibilità del parlato si ritiene che questo ritardo non debba mai superare i 50 millisecondi mentre per la musica è possibile accettare un ritardo fino ad 80 millisecondi; tuttavia questi valori sono indicativi e non devono essere presi alla lettera.

Nella terza parte del menù abbiamo le funzioni di stampa Lp, stampa angolo e ritardo, funzioni che abbiamo in parte già visto e che consentono di visualizzare e stampare i valori opportuni al fine di migliorare l'informazione e l'aspetto dell'immagine da stampare.

Lo stesso diagramma polare offre un menù con un singolo comando, "Change dB limits" per modificare la scala dei dB (tasto destro del mouse). Questo comando è utile per confrontare diversi diagrammi polari.

Infatti, come nella modalità automatica della barra del colore, il programma adatta continuamente la scala del diagramma polare (qui, in modo che il suo cerchio più grande corrisponda sempre al suono diretto).

Questa funzione di *change dB limits* permette di forzare la scala affinché corrisponda sempre ad un medesimo grafico di riferimento.

Il suono diretto appare con una linea tratteggiata quando è ostruito e non può, nella realtà, raggiungere il ricevitore. Tuttavia, serve come riferimento per la scala del diagramma e per calcolare l'angolo ed il ritardo di ogni riflessione.



FIGURA 38. LA FUNZIONE "CHANGE Db limits" DEL DIAGRAMMA POLARE

PARTE SECONDA - L'ANALISI

FUNZIONE DI SCAN

Con Radit2d l'analisi acustica si realizza grazie alla funzione "scan" che ancora non abbiamo visto in dettaglio.

Questa funzione consente d'inserire nel programma disegni, piante, sezioni o qualunque scenario realizzato con altri programmi (come AutoCad).

Abbiamo rinunciato a sviluppare un programma di traduzione automatica per l'importazione di files (dxf, ad esempio) perché la modellazione acustica richiede un tipo di precisione molto diverso rispetto ad un tradizionale disegno architettonico.

Molti dettagli architettonici non servono mentre altri devono essere effettuati con grande precisione. La Funzione "scan" è usata sia per la modellazione sia per l'acquisizione di immagini che, dunque, andranno "ridisegnate" pensando sempre all'analisi acustica che andremo a fare.

Una volta che la pianta (o la sezione) è stata predisposta per l'acquisizione, questa appare nell'area di lavoro. L'utente definisce il perimetro della figura cliccando i vertici ad uno ad uno, come se ricopiassimo da un lucido. Per i profili curvi come il cerchio o la parabola, possiamo scegliere quella che meglio si adatta alle nostre esigenze dal menù "utils" e "geometric shapes": il programma trasformerà automaticamente la figura in una serie di segmenti il cui numero è specificabile dall'utente.

Sia qui che nel tracciato generale, gli utenti dovrebbero cercare un equilibrio tra il numero di vertici e la precisione del disegno tenendo conto delle seguenti osservazioni:

- Tutte le parti del disegno acusticamente non significative, devono essere evitate (come ad esempio le cavità dalle quali il suono non può ritornare al pubblico dopo la prima riflessione oppure il tetto vero e proprio in quanto noi siamo interessati solo allo studio del soffitto, generalmente costituito da una serie di riflettori sospesi e sagomati ...).

- Per lo studio delle frequenze medie, non deve esserci alcun segmento inferiore ad uno o due metri. Infatti la riflessione speculare si verifica su superfici maggiori rispetto alla lunghezza d'onda del suono incidente.

Un suono di 1000 Hz ha una lunghezza d'onda di 0,34 metri. Se assumiamo che la riflessione sarà essenzialmente speculare, la dimensione minima della superficie dovrà essere almeno due o tre volte superiore a questa lunghezza: in caso contrario il suono è diffratto, cosa che il nostro programma non calcola.

Pertanto, la dimensione minima non dovrà essere inferiore ad un metro per 1000 Hz e a due metri per 500 Hz.

Se studiamo le frequenze più basse, dobbiamo semplificare ulteriormente il modello mentre per le frequenze più alte, possiamo scendere nei dettagli.

In Radit2d la frequenza di studio avviene solo attraverso i coefficienti di assorbimento.

Dal punto di vista teorico opteremo sempre per una frequenza media di 1000 Hz, e sceglieremo i coefficienti di assorbimento o di riflessione (0% o 100%), per evidenziare il comportamento acustico generale.

- L'osservazione di cui sopra non vale per i segmenti di unione che non rappresentano una superficie reale, ma permettono solo di chiudere il perimetro che collega due elementi separati (per esempio, due riflettori). Questi segmenti sono da considerarsi perfettamente assorbenti.

- Le curve devono essere simulate con il maggior numero di segmenti possibile per far sì che le focalizzazioni e la diffusione siano ben visualizzate sulla mappa.

Tuttavia il tempo di calcolo aumenta in proporzione, e pertanto occorre trovare un buon compromesso a seconda della velocità del computer utilizzato.

La funzione "scan" permette di definire il poligono del perimetro, individuare la sorgente o specificare una scala con la quale il programma calcola le dimensioni di tutti i segmenti (una lunghezza in metri come il palco, una parete laterale o la parete di fondo).

Sono altresì facilitate alcune correzioni automatiche come l'orizzontalità e la verticalità degli elementi, l'aggiustamento delle curve e degli angoli. (Tasto destro su un segmento e appare "make vertical" o "make horizzontal").

Una volta che il risultato è inserito nell'area di lavoro, possiamo spostare la sorgente e il ricevitore o modificare i coefficienti di assorbimento mentre è più difficile correggere il contorno del disegno (che è bene disegnare con precisione sin dall'inizio).

Pertanto si dovrebbe riservare l'uso dello "scan" per situazioni complesse, come la pianta o la sezione di un teatro, anche per mantenere la scala del disegno così copiato).

Per studiare una geometria semplice, invece, si consiglia di iniziare direttamente dallo "stato iniziale" nell'area di lavoro, come abbiamo visto nella prima parte: la "scansione" è uno strumento di analisi, non di design.

Esempio 1: "Concavità e convessità" - Nella barra degli strumenti, selezionare la funzione "scan".

Si apre una finestra con una cartella "samples" dove sono memorizzati alcuni esempi relativi a Radit2d da utilizzare per queste note.

Base at 3	D manufactures	- E			
10	ACCESS 1				
75	Sector 1				
- Log					
102					
ALCONOM .					
2					
a Bartana		_			

FIGURA 40. RICERCA DELLE IMMAGINI NELLA CARTELLA "SAMPLES"

- Caricare Esempio1.jpg.

Questo esempio è costituito da un involucro pentagonale che, volutamente, risulta mal centrato e piuttosto piccolo.

- Accettare il suggerimento di modificare la dimensione dell'immagine.

Questa scelta ci consente di praticare uno zoom dell'immagine per mantenere solo la parte utile sulla quale andremo a ri-disegnare. Si preme il tasto sinistro del mouse due volte, prima in alto a sinistra della figura e poi in basso a destra. La figura si allarga ed appare nell'area così definita. Se il risultato non ci piace, possiamo ripetere l'operazione finché la figura è ben visualizzata ed occupa la maggior superficie possibile.



FIGURA 41. OPZIONE ZOOM IMMAGINE

FIGURA 42. IMMAGINE INGRANDITA



FIGURA 43. LE LINEE ROSSE SONO IL RISULTATO DEL MODELLO DISEGNATO

- Dopo l'accettazione dello zoom, si entra nell'area del disegno e si ricalca la figura marcando successivamente ogni vertice del pentagono.

Suggeriamo di disegnare in senso antiorario, ma non è strettamente necessario.

Se facciamo un errore, è sufficiente premere il tasto destro del mouse, e l'ultimo punto tracciato scompare.

Dopo aver segnato l'ultimo punto, premere la lettera "e" (end) per terminare. (Se il comando non risponde controllare che il blocco Shift delle maiuscole sia in posizione di off). Si può quindi posizionare la sorgente con il tasto sinistro del mouse e confermare quando siamo soddisfatti della sua posizione.



FIGURE 44 E 45. LE LINEE VERTICALI ED ORIZZONTALI DI RIFERIMENTO DEL DISEGNO



FIGURE 46 E 47. DEFINIZIONE DELLA SCALA DEL DISEGNO

Resta quindi da scegliere un segmento la cui lunghezza sia nota e che serve per indicare la scala del disegno. <u>Ogni immagine deve contenere una quota, o quantomeno dobbiamo</u> <u>conoscerla con precisione perché il tutto verrà scalato sulla base di questa quota.</u>



FIGURA 48. AREA IN CUI È POSSIBILE RADDRIZZARE LE LINEE DEL DISEGNO

I segmenti di riferimento orizzontali e verticali si possono modificare per rettificare la possibile deformazione dell'immagine disegnata: tasto destro per i già visti "make vertical" e "make horizzontal".

Se il disegno ci soddisfa, possiamo salvarlo come file. "ac", oppure, col pulsante "update", andare direttamente nell'area di lavoro di Radit2d.

- Attivare "update"

Dopo aver inserito l'ambiente nell'area di lavoro, possiamo iniziare lo studio. In primo luogo attiviamo il secondo indicatore nella barra di visualizzazione "decibels" per lavorare con la mappa dei livelli sonori. Quindi, aumentiamo la precisione della mappa a 200, per migliorare la qualità delle curve di livello.

Ora possiamo spostare la sorgente e verificare i cambiamenti del campo sonoro e i contributi di ciascuna parete cliccandoci sopra o selezionandola dal menù in alto a destra.

Il nostro poligono corrente è descrivibile come concavo perché, visto dal di dentro, presenta solo concavità; si noti che in acustica, il disegno si osserva sempre dalla parte interna (chiusa) che è l'opposto della geometria usuale. Così chiamiamo concavi i poligoni convessi (come il nostro pentagono).



FIGURA 49. COMPORTAMENTO DELLA SORGENTE IN DIVERSE POSIZIONI, IN RELAZIONE A PARETI DIFFERENTI, INDICATE IN VERDE

- Spostare il vertice del pentagono al centro del disegno

Il disegno ha ora una porzione convessa. Se spostiamo la sorgente sonora, notiamo che ora i calcoli sono un poco più lenti (ma dipende dal PC impiegato) perché il programma verifica se c'è qualche parete che risulta mascherata da altre pareti.



FIGURA 50. MODIFICA DEL VERTICE DEL PENTAGONO



FIGURA 51. MURO MASCHERATO

- Mettere la sorgente in modo che appaia completamente mascherata da un muro.

Se si attiva questo muro, segnato in rosso, si vedrà che il suo contributo acustico è nullo.

Esercizio 1: posizionare la sorgente in modo che appaia una parete parzialmente mascherata (apparirà in azzurro).

Suggerimento: ridurre la precisione della mappa per velocizzare i calcoli e utilizzare gli "objects" per pulire l'immagine. Esempio 2: "coefficienti di assorbimento acustico"

- Caricare l'esempio 2.jpg seguendo gli stessi passi come nel precedente esempio.

- Modificare i fattori di assorbimento

Dopo aver inserito l'immagine nell'area di lavoro, possiamo modificare i parametri (scala in dB, precisione della mappa), spostare la sorgente o il ricevitore per osservare l'acustica della sala riportata sulla mappa e nei diagrammi polari.

Quindi scegliamo una qualsiasi parete e introduciamo il valore del fattore di assorbimento a "100/". Quando si immette la barra "/", il cambiamento si attua per tutte le pareti, che diventano linee tratteggiate e che significano un assorbimento totale, ovvero del 100%.

Per tornare alla situazione precedente, si seleziona una qualsiasi parete e si assegna il coefficiente "0/", oppure si utilizza la "history".

Possiamo anche modificare i singoli coefficienti di ciascuna parete e osservare le modifiche apportate alle mappe ed ai diagrammi polari.

In generale con Radit2d, si utilizzano solo i valori estremi, assorbimento nullo o totale (0% oppure 100%).

È tuttavia possibile prendere in considerazione materiali specifici ed introdurre, ad esempio, i coefficienti corrispondenti alla banda di frequenza di 1000 Hz, ma senza mai dimenticare che i risultati del nostro programma sono parziali (è considerata solo la prima riflessione rispetto a un piano), e pertanto non è possibile avere un'eccessiva precisione di calcolo.

Radit2d non è destinato a simulare situazioni reali con tutte le sue sfumature, ma per studiare le idee di base e perfezionarle nella loro generalità.

Nota: Il numero associato a ciascuna parete dipende dall'ordine seguito nel tracciare il disegno.



FIGURA 52. COMPORTAMENTO DELLA PARETE N°7. IN QUESTO GRAFICO L'ASSORBIMENTO DELLE PARETI 1, 4 E 8 È PARI A 100%



FIGURA 53. CAMPO RIFLESSO CON ASSORBIMENTO SU TUTTE LE PARETI PARI A 0% E SORGENTE IN UN ANGOLO

- Creare una finestra aperta di due metri, al centro della parete obliqua.

Una finestra corrisponde ad un segmento totalmente assorbente (il suono che esce dalla finestra si perde come se fosse totalmente assorbito).

Per questa procedura, in primo luogo attiviamo la funzione "constrain" (vincolare), che costringerà lo spostamento dei vertici nuovi sulla parete obliqua.

• creare tre nuovi vertici nella parete obliqua con "split wall". Tasto destro e il vertice intermedio appare automaticamente al centro della parete obliqua. (Fig. 54)

• spostare entrambe le estremità dei nuovi vertici in modo da avere un metro di distanza dal centro (ovvero creando un'apertura di 1+1 metri).

Tutte le dimensioni appaiono in alto quando si clicca su un segmento (sempre col tasto destro). Con la funzione "constrain" attivata lo spostamento dei vertici non è soggetto alla griglia dello "snap".

- togliere il vertice centrale "delete vertex": la finestra obliqua è inserita nella parete.
- portando l'assorbimento al 100% il segmento apparirà tratteggiato.
- Disattivare la funzione "constrain" per evitare possibili sorprese.





FIGURE 54, 55 E 56. COSTRUZIONE DI UNA FINESTRA DI DUE METRI AL CENTRO DI UNA PARETE OBLIQUA

Esercizio 2:

a) Posizionare la sorgente ed il ricevitore più o meno come indicato nella figura.

b) Analizzando il diagramma polare, scoprire se è presente una riflessione con un ritardo di oltre 50 ms. Se questo è il caso, modificare l'assorbimento della parete corrispondente, in modo che il contributo della riflessione risulti al di sotto di 30 dB rispetto al contributo diretto.

(Con il diagramma polare individuiamo la riflessione ritardata nonché la parete "wall" che la genera). Commentare i risultati.



Suggerimento: passando dalla mappa ai diagrammi polari, i grafici si creano automaticamente. Naturalmente si dovrà avere cura di scegliere solo quelli più significativi per offrire una descrizione chiara e completa del caso esaminato.

Esempio 3: "Nel fuoco dell'ellisse"

I soffitti di forma ellittica rappresentano il caso più spettacolare di focalizzazione acustica.

Se due persone sono collocate nei loro fuochi, possono parlare tra loro solo mormorando e si comprenderanno perfettamente mentre una terza persona, situata tra i due, non sentirà nulla. Si dice che questo sistema sia stato utilizzato nel medio evo per confessare i lebbrosi ... Analizziamo un pianta ellittica.



- Caricare l'esempio 3.jpg

Per tracciare la curva ellittica useremo i segmenti della parabola. Marcare prima l'estremità destra della curva e quindi un punto qualsiasi sulla curva del disegno non troppo lontano da questa estremità.

Poi disegnare un segmento che congiunge i due punti segnati e premere la lettera "P" (appare un segmento rosso).

Col tasto sinistro possiamo marcare un punto intermedio e apparirà un segmento di parabola (in verde).



FIGURA 57. TRACCIAMENTO DELLA SEMI-ELLISSE.

NELL'IMMAGINE CI SONO DUE COLORI: ROSSO E VERDE. IL PRIMO CONTRASSEGNA I SEGMENTI DI LINEA ACCETTATI MENTRE IL VERDE CORRISPONDE ALL'ATTIVAZIONE DELLA FUNZIONE "P" CHE CI AIUTA A DEFINIRE IL SEGMENTO DI PARABOLA.

Aggiustiamo più volte la curva verde (tasto sinistro) finché questo segmento non si adatta perfettamente alla porzione di ellisse che vogliamo tracciare. Quando siamo soddisfatti è necessario digitare "a" (accept) e poi stabilire con quanti segmenti di linea vogliamo simulare la parabola appena disegnata. (Ricordate che Radit2d funziona solo con segmenti di retta: la parabola che stiamo manipolando è pertanto discretizzata).



FIGURA 58. QUI DEFINIAMO IL NUMERO DEI SEGMENTI DELLA LINEA CON CUI SIMULIAMO LA SEMI-ELLISSE

Ripetere questa operazione quante volte necessario per tracciare una semi-ellisse completa (la curva sarà formata da tanti segmenti blu) quindi digitare "e" (end) per chiudere la figura con il suo perimetro (ricordiamo che il disegno deve essere sempre chiuso).

Il tracciamento della curva richiede una certa cura. Il numero di segmenti deve essere il più alto possibile, compatibilmente alla velocità di lavoro del nostro computer.

Se necessario, ripetere l'esercizio più volte: prima, con un'approssimazione maggiore e poi aumentando gradualmente la precisione, alla ricerca del miglior compromesso tra velocità computazionale e qualità del disegno finale.



FIGURA 59. L'ELLISSE COMPLETATA

NOTA. Dal momento che il programma non è pensato per la precisione assoluta, possiamo disegnare un'ellisse dettagliata anche in modo più semplice: anziché fare tanti segmenti, possiamo marcare il punto d'inizio (in basso a destra) ed il punto centrale del disegno; poi, utilizzando il comando "symmetry", copiare il disegno per ottenere una semiellisse identica alla prima disegnata. Ancora con "symmetry", possiamo completare la nostra pianta. In tal modo siamo certi che l'ellisse sarà disegnata in maniera speculare.

- Completare l'ellisse nell'area di lavoro di Radit2d.

Per questo, è sufficiente premere il tasto destro del mouse sull'asse della semi-ellisse, e quindi attivare il menu "Symmetry".

Questa funzione, molto utile e veloce, assicura un disegno della pianta perfettamente simmetrico.



FIGURA 60. SIMMETRIA DEL SEMI-ELLISSE



FIGURA 61. ELLISSE COMPLETATA

- Posizionare la sorgente in un fuoco dell'ellisse.

Per fare questo, se necessario, dobbiamo prima allineare l'asse orizzontale dell'ellisse per sovrapporla esattamente all'asse orizzontale dello spazio di lavoro (aiutandoci con la funzione "snap", se occorre).

Poi, procedendo per passi, spostiamo la sorgente verso l'estremità dell'asse finché la mappa indica un visibile fuoco (in questo caso conviene lavorare in modalità "reflections").

La focalizzazione sarà simile ad una "macchia" colorata: apparirà all'estremità opposta della sorgente ed avrà valori sempre più elevati man mano che ci avviciniamo al fuoco esatto dell'ellisse.

Aumentiamo gradualmente la risoluzione della mappa per una migliore visualizzazione e utilizziamo il menù in alto per controllare l'esatta posizione della sorgente.

A questo punto sia la sorgente sia la focalizzazione individuata, corrispondono ai due fuochi della nostra ellisse (Fig. 63).



FIGURE 62 E 63. RICERCA DELLA FOCALIZZAZIONE

Esercizio 3:

Collocare il ricevitore in vari punti dell'ellisse incluso il secondo fuoco e commentare i diagrammi polari corrispondenti.

Realizzare una presentazione del risultato, con le mappe, i diagrammi più interessanti ed i commenti.

Suggerimento: Utilizzare il menù del ricevitore (tasto destro) per impostare numericamente e con precisione la sua posizione. Per ottenere posizioni simmetriche tra sorgente e ricevitore, aiutarsi con l'asse orizzontale per verificare le simmetrie. Lavorare con le riflessioni e non con i decibels.

Commentare le diverse fasi del procedimento seguito per ottenere la mappa finale. Osservare il numero di riflessioni che raggiungono il ricevitore.



Il risultato che segue è stato ottenuto da chi scrive partendo dall'esempio 3.jpg

SORGENTE E RICEVITORE NEI DUE FUOCHI DELL'ELLISSE: 61 RIFLESSIONI OSSERVATE

Esempio 4: "La copertura ondulata"

Le coperture ondulate, che ricordano la forma delle onde marine o delle onde sonore, sono diventate dei cliché dell'acustica moderna e si trovano in molte aule, sale per conferenze o biblioteche (Arch. Alvar Aalto). Sicuramente, il lettore si sorprenderà se riveliamo che questi tetti, di solito, non sono calcolati acusticamente; infatti una valutazione manuale di questa geometria è sempre faticosa ed incompleta. Con Radit2d è possibile eseguire un'analisi molto precisa riguardo queste soluzioni.

I tetti ondulati sono costituiti da porzioni concave e da porzioni convesse alternate: quella concava può causare focalizzazioni, mentre quella convessa genera diffusione sonora.

- Caricare l'esempio 4.jpg

Seguire gli stessi passi come nel precedente esempio. Se necessario si può utilizzare, in aggiunta all'approssimazione con le parabole, l'approssimazione con segmenti cerchio. In tal caso digitare "c" invece di "p".

- Esaminare la situazione

Abbiamo detto che il soffitto è concavo e convesso: quest'ultimo spiega perché il programma calcola ora molto più lentamente rispetto all'esempio precedente. Possiamo spostare la sorgente ed il ricevitore, osservando come si modificano le posizioni delle immagini, le curve delle mappe e le riflessioni nel diagramma polare.



FIGURA 64. RICOPIARE L'IMMAGINE

FIGURA 65. IMMAGINE COMPLETATA



Il risultato che segue è stato ottenuto da chi scrive partendo dall'esempio 4.jpg

LA SORGENTE SUL PALCO INNESCA DEI VISIBILI FUOCHI ACUSTICI

- Spostare di un poco il vertice del disegno.

Quando spostiamo il vertice, osserviamo un cambiamento radicale nella mappa che ha bisogno di una spiegazione particolare (appaiono smagliature colorate vicino alle superfici convesse).

Quando si discretizza una curva convessa, le riflessioni dei segmenti che la compongono, assumono l'aspetto di raggi separati. Questo è l'effetto della discretizzazione della curva poiché le riflessioni su un solido sono continue e non frammentate.

Anche se aumentiamo di molto il numero dei segmenti della discretizzazione, questo effetto rimane: essi saranno senz'altro più sottili, tuttavia saranno ancora separati.

Il risultato è disastroso per l'analisi perché complica notevolmente la visualizzazione della mappa senza che questa corrisponda alla situazione reale.



FIGURA 66. APPLICAZIONE RIGOROSA DELLA TEORIA DELLE IMMAGINI



FIGURA 67. CORREZIONE DELLA CONVESSITÀ

Per evitare questo, Radit2d include una correzione della convessità che muove leggermente la sorgente immagine per ristabilire la continuità della riflessione e per ottenere una mappa nitida. Tuttavia, questa correzione scompare se si modifica la geometria dell'involucro (anche solo di poco) ed anche se spostiamo uno degli assi della zona di lavoro.

In caso di esecuzione erronea di questi cambiamenti, è sempre possibile tornare alla "history" per azzerare la correzione della convessità.

Si noti che la separazione dei raggi, come mostrata nel metodo rigoroso delle immagini sopra una superficie convessa discretizzata della Fig. 66, non indica in modo particolare il grado di diffusione generato dalla superficie corrispondente: in questa i raggi s'incontrano e ne formano uno solo, la cui densità sonora però, corrisponde alla media tra i raggi discreti e la zona intermedia vuota. Pertanto, questa densità è sempre inferiore a quella che produrrebbe la riflessione di una superficie piana.

Esercizio 4:

Analizzare la sala, con particolare attenzione alle possibili focalizzazioni causate dalle superfici concave e dalla diffusione generata da quelle convesse; studiare solo il soffitto e considerare totalmente fonoassorbenti tutte le altre superfici.

Suggerimento: trattandosi di una sezione, conviene adattare la griglia della mappa alla gradinata per il pubblico. Per fare questo, spostare i vertici in modo che quest'area si converta in un rettangolo sottile e parallelo ai gradini di circa 90 cm di altezza in modo da rappresentare le linee delle teste del pubblico.



STUDIO ACUSTICO DELL'ESEMPIO 4

Esempio 5: "I riflettori"

Nella maggior parte delle moderne sale da concerto si vedono una serie di riflettori piani o convessi sospesi al soffitto che riflettono il suono verso le aree del pubblico (e talvolta anche verso gli stessi musicisti in palcoscenico).

I pannelli formano così un "falso tetto" discontinuo che maschera parzialmente il soffitto vero e proprio. Nello studio acustico di questi riflettori è conveniente semplificare al massimo il modello e completare il falso tetto con segmenti fonoassorbenti piuttosto che simulare il soffitto in dettaglio. Inoltre, il suono riflesso dal tetto vero, deve probabilmente essere riflesso più volte prima di raggiungere il pubblico a causa del mascheramento causato dai riflettori stessi.

Queste riflessioni multiple, che alimentano la riverberazione, non sono prese in considerazione da Radit2d.

- Caricare l'esempio5.jpg



FIGURA 68. MODELLO BEN DISEGNATO



FIGURA 69. MODELLO MAL DISEGNATO

Qui dobbiamo curare bene la realizzazione del modello in funzione di ciò che vogliamo indagare con l'analisi acustica: un modello simile a quello della Figura 69 è inutilmente accurato: per il nostro studio è preferibile quello della figura 68.

- Analizzare il contributo dei riflettori nel campo sonoro.

Poiché siamo interessati unicamente allo studio dei riflettori, setteremo tutte le altre superfici del disegno come fonoassorbenti al 100%

Quindi adatteremo la griglia della mappa in tribuna come abbiamo fatto nell'esempio precedente. Attivando ciascun riflettore, si può vedere il campo sonoro corrispondente sulla mappa (in questo caso è consigliabile una risoluzione di almeno 100) mentre con il comando "all" vediamo il contributo di tutti i tre riflettori disegnati.

Infine, aggiungeremo il suono diretto, per confrontare la mappa risultante con quella precedente (in decibels). <u>Per la migliore comprensione ricordiamoci di settare la mappa in modalità manuale.</u>

Posizioniamo quindi il ricevitore nelle aree più significative della mappa, ed in particolare laddove vi è l'effetto combinato di due o più riflettori, per confrontare l'andamento delle riflessioni.

Esercizio 5:

Caricare e analizzare l'esempio 5 (archivio "Samples").

Descrivere gli errori del posizionamento dei riflettori e proporre una soluzione ottimale con la rispettiva analisi acustica.

Il risultato che segue è stato ottenuto da chi scrive partendo dall'esempio 5.jpg



STUDIO DEL CAMPO ACUSTICO SENZA E CON IL CONTRIBUTO DIRETTO [OTTIMIZZAZIONE DELLE INCLINAZIONI DEI RIFLETTORI]

PARTE TERZA - IL DISEGNO

PROGETTO: "LA CAMPANA ACUSTICA"

INTRODUZIONE

L'idea che studiamo qui è molto generale e potrebbe essere adattata a molti ambienti, anche all'aperto. Si tratta di un dispositivo rimovibile per organizzare classi o conferenze in una situazione acustica sfavorevole. Non è destinato a creare una chiusura completa, ma solo parziale, impiegando alcuni pannelli semplici e leggeri per orientare al meglio la voce dello speaker per aumentarne l'intelligibilità.

Le condizioni acustiche di base (livello di rumore, riverbero, isolamento, ...) dipendono da fattori che non sono oggetto di questo studio dal momento che Radit2d non ha queste funzionalità.

Possiamo solo dire che questo progetto migliorerà rispetto alla situazione precedente. Lo studio è quindi puramente relativo, basato su un confronto tra le diverse opzioni e si riferisce all'analisi del solo suono diretto e della prima riflessione speculare sui vari pannelli del progetto, trascurando qualsiasi fenomeno acustico esterno.

Come si vedrà, con questi criteri, la struttura avrà l'aspetto di una "campana" o di un "guscio" realizzato attorno all'oratore: da qui il titolo del progetto.

Il programma Radit2d è particolarmente adatto a questo progetto, e noi studieremo un approccio reale per una proposta costruttiva completa.

Un progetto basato su considerazioni acustiche è sempre costituito da due parti:

progettazione acustica e progettazione architettonica. Lo scopo di questo manuale è di spiegare all'utente come comportarsi con la prima, in modo da poter armonizzarsi con la seconda. Più abilità è acquisita nella progettazione acustica, e più libertà abbiamo per la progettazione architettonica.

Nell'esempio qui presentato, si sviluppa solo il "progetto sonoro" per lasciare ampi margini di libertà all'immaginazione dell'architetto. Il lettore può quindi completare le idee abbozzate in questa sede, per personalizzare il proprio progetto.

DESCRIZIONE DEL SITO

Alla base del progetto c'è un problema di capienza nell'edificio ETSAV di San Cugat.

Questa scuola ha diverse aule sopra le quali vi sono tre ampi laboratori. Talvolta, quando tutte le sale sono occupate, è necessario spostare qualche classe nei laboratori. Può anche accadere che un insegnante voglia tenere una conferenza nei laboratori stessi, senza dover spostare tutti gli studenti.

Per il progetto è stata scelta una delle sale dei laboratori: la "P3". È uno spazio di circa 14 metri di larghezza per 19 metri di lunghezza con una altezza utile di circa 3,5 metri (vedi pianta e sezione).

Il pavimento è liscio ed è quasi un perfetto riflettore acustico.

Le pareti sono in muratura di mattoni dipinti di bianco, con alcune scanalature.

Le finestre del lato destro (rispetto agli ingressi principali) sono alte, di legno e formano una superficie continua mentre le finestre di sinistra sono piccole ed hanno una disposizione interrotta.

Gli accessi sono tre: due principali ed uno sulla parete di fondo.

La struttura delle colonne e delle travi dell'edificio si alterna con il ritmo delle finestre e supporta il sistema di illuminazione artificiale, costituito da lampade appese alle travi.

Sopra c'è un grande lucernario che esalta la luce naturale, oltre alla luce diretta delle finestre.

Le separazioni interne sono realizzate principalmente con gli armadietti degli studenti, schermi e lavagne mobili. I tavoli e gli sgabelli, che costituiscono il resto degli arredi, sono distribuiti liberamente, come le attività svolte.

Pertanto, l'aula/laboratorio è essenzialmente uno spazio flessibile.



PIANTA E SEZIONE DELL'AULA "P3" [NON IN SCALA]

La situazione acustica di questo grande spazio (e dei rimanenti laboratori) è molto carente: il livello di rumore solitamente elevato e la prolungata riverberazione, ostacolano il normale utilizzo dell'aula anche per poche decine di studenti che formano la classe.

Per comprendere meglio il problema, si riassumono i risultati di una serie di misurazioni acustiche effettuate nel novembre 2002 da Victor Garrido, per gli autori di queste linee guida. Nella camera prescelta la media dei tempi di riverbero misurati in tre punti della stanza per bande a terzi d'ottava ed in presenza di circa 80 persone, era di 1,3 secondi nella banda di 1000 Hz. In una condizione molto tranquilla, il livello di rumore era di circa 45 dB, e fino a 80 dB con il brusio degli studenti.

A sala vuota il tempo di riverbero supera 1,8 secondi a 1000 Hz mentre il livello di rumore è al di sotto di 30 dB. Queste misure sono coerenti con l'osservazione che queste aule sono più silenziose dei laboratori, ma è spaventoso per due o tre persone riunirsi qui per una conversazione.

Tuttavia, se nella stessa stanza abbiamo una trentina di persone, il tempo di riverbero si abbassa, come è naturale in una piccola stanza, e si stabilizza attorno ad un secondo, valore ideale per una classe.

Invece il problema è che nei laboratori, anche se abbiamo meno riverbero a stanza vuota, dovremmo riunire centinaia di persone per ridurre il tempo di riverberazione entro i valori ottimali per via delle dimensioni ambientali. Per la stessa ragione sarebbe molto costoso risolvere il problema con materiali assorbenti che dovrebbero coprire aree molto estese allo scopo di ottenere risultati percepibili. Il livello di rumore può essere controllato poiché l'accesso ai laboratori deve essere sempre libero per tutti gli studenti che vi vogliono lavorare.

CRITERI E REQUISITI

L'intero progetto si basa su un'idea acustica elementare che trarrà, nella delicata situazione proposta, due conseguenze positive che ci assicurano il miglioramento acustico che cerchiamo. Si tratta di dirigere, mediante un pannello riflettore piatto ben posizionato e ben orientato, la maggior parte della voce del docente verso l'area degli studenti

Da un lato il livello sonoro aumenterà grazie al suono riflesso, e pertanto si sentirà la voce del docente amplificata. Naturalmente, si devono indirizzare le riflessioni verso le zone più deboli del pubblico (le più lontane) per ottenere un campo sonoro (diretto + riflessioni) il più uniforme possibile.

Dall'altro, se i 60 studenti saranno collocati in un'area ridotta, formeranno una zona molto assorbente che garantisce l'assorbimento senza incrementare la riverberazione dell'aula.

Questo ci permetterà di evitare completamente il tipico problema che sorge quando si amplifica la voce dell'oratore in un ambiente riverberante: quando si aumenta il livello sonoro, la riverberazione che segue altera le parole; il risultato è che si sente più forte ma le parole non sono chiare e comprensibili.

Il secondo requisito, dopo l'acustica, è che le nostre strutture non devono essere d'intralcio per le altre attività che si svolgono nella sala. Ciò richiede di prevedere dei passaggi confortevoli attorno alla struttura nonché di poter essere facilmente rimossa quando necessario.

Il terzo requisito riguarda lo *sviluppo* della classe. Possiamo "forzare" l'insegnante ad occupare una posizione fissa e precisa, necessaria per indirizzare al meglio le riflessioni, ma dobbiamo lasciare un margine di tolleranza, considerando l'altezza fisica dell'oratore.

Gli studenti devono altresì sentirsi a proprio agio e l'insegnante deve rimanere ad una giusta distanza dai pannelli.

Si dovrebbe anche essere in grado di fare proiezioni sulla parete di fondo della "scena" e facilitare l'accesso sia per l'insegnante che per gli studenti.

Infine, l'esigenza estetica: anche se la struttura acustica è funzionale, dobbiamo trovare un modo per renderla visivamente elegante, bella e sicura, per impedire agli utenti di sentirsi parte di un semplice - e forse inquietante - esperimento acustico.

Anche se la struttura non è chiusa, l'interno deve ostentare un disegno familiare in modo tale che gli utenti la considerino davvero come una classe ove trascorrere volentieri un po' di tempo.

PRIMI SCHIZZI

Come iniziare una progettazione acustica?

Innanzitutto, a causa delle caratteristiche del suono e della sua propagazione, è indispensabile - se il disegno deve rispettare un approccio acustico - porre particolare attenzione alle prime fasi del progetto. In effetti il suono non viene gestito con la stessa facilità della luce e il campo sonoro è determinato essenzialmente dalle prime tracce del disegno: è molto improbabile che una geometria acusticamente sbagliata si possa correggere a posteriori.

In generale, si dovrebbe iniziare con lo studio in pianta del rapporto tra la scena (il posto occupato dal relatore o sorgente) ed il pubblico (l'area occupata dagli ascoltatori o ricevitori). Una rapida definizione della sezione longitudinale permette di completare questa prima decisione: come sarà percepita la sorgente sonora dal pubblico e viceversa? (Stiamo parlando di comunicazione!)

In questa fase, generalmente, i requisiti visivi corrispondono alle esigenze acustiche: si sente meglio dove si vede bene. Ma non è sempre così (in particolare nel caso dei teatri d'opera dove a volte sorgono conflitti tra le esigenze dell'occhio e quelle dell'orecchio).

Qui la seconda condizione vieta l'uso degli stand (praticabili per il palco) o del pavimento sopraelevato perché questo complica enormemente il rapido smontaggio. Pertanto, lo studio acustico della sezione, si riduce essenzialmente alla struttura del soffitto.

Riflettiamo un po' sulle possibilità offerte dalla geometria di base; per discuterla, ricordiamo che le riflessioni più forti sono le prime, ovvero quelle che compiono il percorso più breve. Queste si verificano:

a) molto vicino alla sorgente (scena): queste riflessioni possono essere dirette facilmente a tutto il pubblico. Generalmente, una scena è costituita da un soffitto, un pavimento, due lati ed una parete di fondo. Analizziamo pertanto le possibili riflessioni che si producono:

- <u>la parete di scena</u> (proprio dietro la sorgente): un fondale di scena aggiunge profondità visiva, ma è anche eccellente per l'acustica: si utilizzava nel teatro antico prima dello sviluppo della scena illusionista che ha rimosso questa parete posteriore, inficiandone la funzione acustica.

- <u>il soffitto</u>: il soffitto sopra la scena se opportunamente inclinato, guida correttamente la riflessione sonora.





- <u>la pavimentazione</u>: il pavimento è acusticamente vantaggioso (ricordate l'orchestra del teatro greco).

- <u>le pareti laterali</u>: devono formare un "imbuto" aperto verso il pubblico e non devono essere parallele tra loro (a meno che non siano assorbenti o diffondenti o con una ricchezza di dettagli architettonici in grado di eliminare la riflessione speculare).



b) molto vicino al ricevitore: sono molto utili, in particolare per recettori lontani. Conviene pertanto disporre dei pannelli vicino agli spettatori più distanti, vale a dire nella parete di fondo sala. Essendo il pavimento occupato in gran parte dal pubblico, abbiamo solo tre elementi da considerare per questa progettazione:

- <u>la parete di fondo sala</u>: se la stanza è lunga si deve inclinare questa parete per evitare che il suono ritorni indietro verso la scena (che potrebbe creare un'eco ritardata superiore a 50 ms e quindi disturbante).



- <u>il soffitto</u>: può essere fortemente inclinato per orientare la riflessione verso le file posteriori, e anche confondersi con la parete di fondo se anche questa è inclinata.

- le <u>pareti laterali</u>: se massimizzate per le riflessioni, saranno simili a quelle della scena, però ad imbuto rovesciato (vedi pianta a ventaglio rovesciato).

c) in un punto intermedio tra la scena e la parete di fondo sala.

Queste riflessioni sono più ritardate e pertanto più deboli. Tuttavia possono essere utilizzate per ridurre alcuni difetti di non uniformità del campo sonoro, soprattutto se la parte di pubblico interessata è collocata vicino a queste pareti.

- <u>sul soffitto</u>: specialmente utile per il rinforzo sonoro delle sedute centrali dell'auditorio.

- <u>dalle pareti laterali</u>: particolarmente utile per rinforzare il suono sulle sedute laterali più prossime a queste pareti. Possono anche servire come rinforzo laterale in genere. Le riflessioni sono attenuate quando raggiungono il pubblico laterale, tuttavia arrivano con difficoltà agli spettatori centrali (a meno che la scena non sia sopraelevata o le pareti laterali non siano inclinate verso l'interno).





Partendo da queste indicazioni, possiamo esaminare le forme generali della pianta per trovare quella più adeguata ai requisiti del nostro progetto.

PIANTA CIRCOLARE

Per il pubblico la disposizione circolare offre la maggior prossimità alla sorgente sonora, tuttavia il suono riflesso è molto povero (di poco aiuto): in questo caso possiamo sfruttare solo il soffitto e le pareti circolari che però creano un fuoco al centro della sala che ci obbliga a rendere quasi totalmente assorbenti (o molo diffusive) queste pareti.

Questa disposizione si potrebbe immaginare per un concerto informale davanti ad un pubblico limitato. Notiamo in questo caso che il corpo del musicista o del conferenziere funge da schermo soprattutto ai suoni di alta frequenza ed occorre quindi compensare questa perdita di energia diretta con uno o più riflettori sospesi. Naturalmente in un posto simile, non è possibile effettuare proiezioni perché non esiste un punto di vista unico.



SUONO DIRETTO

FOCALIZZAZIONE

PIANTA SEMI-CIRCOLARE

Con una pianta semi-circolare si ottengono due vantaggi: il pubblico è di fronte alla sorgente e possiamo collocare una parete riflettente dietro la scena.

Senza dubbio il pubblico ai lati estremi non potrà vedere bene il conferenziere il quale, a sua volta, non ha una visione globale del pubblico.

La disposizione del teatro antico ci offre una soluzione: lo spazio acustico e visivo tra palco e pubblico è lasciato libero e l'orchestra, che produce una seconda riflessione utile, compensa ampiamente (dal punto di vista acustico) la perdita di spazio per il pubblico.

Tuttavia, questa disposizione non consente scenografie "illusioniste" (prospettive con scene strette e allungate) e limita la visuale delle proiezioni che non sono visibili dai posti laterali. Inoltre c'è l'obbligo di avere un palco rialzato che complica eccessivamente il montaggio.



SUONO DIRETTO



SUONO DIRETTO + RIFLESSIONI DELLA SCENA



SOLO RIFLESSIONI DELLA SCENA

PIANTA A VENTAGLIO APERTO

È la disposizione ideale per la scena: la parete di fondo e quelle laterali sono molto vicine al palco, con l'unica limitazione che il muro potrebbe non essere sufficientemente largo per consentire le proiezioni. Notiamo che la porzione utile delle pareti laterali (quella che riflette il suono) è limitata; pertanto non serve prolungare le pareti (o il trattamento acustico di queste) oltre un certo limite (evidenziato in verde nella figura a destra).

Questo disegno ha due vantaggi significativi perché consente una notevole varietà di scenografie "illusionistiche" e perché tutto il pubblico guarda in un solo punto centrale.





N.B. Occorre tuttavia osservare che questa pianta produce riflessioni piuttosto arretrate (l'energia tende verso la parete di fondo). È quindi necessario intervenire sagomando le pareti laterali per rendere omogenea la distribuzione del suono.

PIANTA RETTANGOLARE

Nella forma rettangolare osserviamo che le riflessioni utili si generano essenzialmente dalle pareti laterali che avvolgono il pubblico e non da quelle del palcoscenico.

Tali riflessioni sono infatti molto più laterali rispetto al caso precedente e favoriscono la percezione del suono diffuso (surround) che è particolarmente gradito per la musica.

Tuttavia occorre evitare il parallelismo delle pareti laterali della scena dove le riflessioni creano un eco fluttuante (l'equivalente sonoro delle immagini multiple tra due specchi paralleli con la differenza che la bassa velocità del suono provoca repliche successive e non simultanee che in certe frequenze generano onde stazionarie).

Per questo tante buone sale da concerto hanno una pianta di forma mista, con una scena strombata (a ventaglio aperto) e sala rettangolare.

Infine si osserva che le porzioni finali delle pareti laterali sono inutili per la prima riflessione.



SOMMA DELLE RIFLESSIONI



PORZIONE UTILE DELLA PARETE LATERALE



PARTE UTILE DELLE PARETI LATERALI CHE CONCORDA CON QUELLO DELLE RIFLESSIONI TOTALI

PIANTA A VENTAGLIO ROVESCIATO

Questa è una soluzione sfavorevole in termini di capienza (si perde molto spazio visivamente buono nella parte posteriore della sala) ma ottimo per le riflessioni laterali.

Per tale ragione questa forma è ampiamente utilizzata per le moderne sale da concerto che, normalmente, viene integrata con un sistema di balconate (terrazze) proprio per recuperare spazio per il pubblico.

Poiché la prima riflessione delle pareti laterali è molto arretrata (linea verde) questa forma risulta ottimale per rinforzare il suono nelle ultime file.



SOMMA DELLE RIFLESSIONI

PORZIONE UTILE DELLA PARETE LATERALE

PIANTA OTTAGONALE

Questa forma somma tutti i vantaggi delle piante precedenti e ci permette di orientare le prime riflessioni con la massima efficienza:

- Ventaglio aperto: ci dà tre riflessioni utili (una posteriore e due laterali) che possono coprire tutto l'auditorio; consente le proiezioni ed è facile da montare/realizzare.

- Rettangolare: offre spazio sufficiente per la capienza richiesta; le file di sedie si possono disporre molto più facilmente rispetto ad ogni altra disposizione (nel caso di un ventaglio, ad esempio, è richiesto un piano di installazione); le pareti laterali possono fornire riflessioni utili, ma è molto probabile che possiamo prescindere da queste con una buona progettazione del soffitto).

- Ventaglio rovesciato: ci aiuta per la distribuzione energetica nelle ultime file, ovvero nell'area che ne ha la maggiore necessità.



SOMMA DELLE PRIME RIFLESSIONI

RIFLESSIONI GENERATE DALLA SCENA



RIFLESSIONI GENERATE DALLE PARETI LATERALI





PRIMA RIFLESSIONE

SUONO DIRETTO

RIFLESSIONI E SUONO DIRETTO. Se vogliamo migliorare l'acustica di una sala, dobbiamo raggiungere la maggiore uniformità possibile nella distribuzione dell'energia sonora.

Il grafico a sinistra, mostra solo la prima riflessione. Nel grafico sulla destra, dove è analizzato il suono diretto, l'uniformità anteriore scompare.

Pertanto, per ottenere una soluzione ottimale, si dovrebbe inviare più suono riflesso verso le ultime file del pubblico, sacrificando le prime file che già beneficiano del campo diretto.

DISPOSIZIONE DEL PUBBLICO

Dal momento che il pubblico avrà una disposizione rettangolare, non resta che decidere se la dimensione maggiore sarà parallela o perpendicolare al palco. Entrambe le soluzioni presentano vantaggi e svantaggi:





- Con la disposizione parallela il pubblico è più vicino alla sorgente; tuttavia gli spettatori laterali non vedono bene le proiezioni, e soprattutto l'insegnante non può *coprire* l'intera classe con un solo sguardo, cosa che può portare deconcentrazione o perdita del controllo visivo del pubblico perché l'oratore si sente in qualche modo "appartato".

- Con la disposizione perpendicolare, il pubblico è più lontano dalla sorgente, tuttavia la corrispondente riduzione del suono diretto può essere compensata con una buona progettazione del soffitto; in caso di una distanza significativa, potrebbe essere necessario un gradone per l'oratore.

In questo studio si sceglierà la prima opzione, lasciando al lettore lo studio della seconda confrontando i risultati ottenuti.

DISEGNO DELLA PIANTA

La superficie del pubblico





Per determinare l'area del pubblico, partiamo con l'area occupata da ciascuna seduta prevista dal progetto. Dopo aver determinato questo valore, dobbiamo aggiungere lo spazio tra i sedili e tra le file, più un piccolo margine di tolleranza che ci permette di ottenere numeri interi, più facili da utilizzare con il programma.

Posizione ottimale della sorgente

Per ottenere una distribuzione equilibrata del suono riflesso, tracciamo una direttrice a metà del pubblico e poniamo su questa la sorgente sonora; quindi definiamo la distanza tra la sorgente ed il pubblico e tra la sorgente e la parete alle spalle del palco.

Per prima cosa ricordiamo che più vicina è la sorgente, meglio sarà l'ascolto per il pubblico. Tuttavia, sia per comodità di chi parla sia per il pubblico delle prime file, non possiamo avvicinarci troppo: una distanza di almeno un metro è necessaria per ottenere una visione d'insieme del pubblico da parte dell'oratore.

La parete della scena è una delle risorse migliori per dirigere con facilità il suono riflesso a tutto il pubblico. Ciò nonostante, come abbiamo detto, limitare la profondità della scena limita l'illusione prospettica. Tuttavia, per la "Campana Acustica", la scenografia non è essenziale perché per noi è sufficiente una parete piana e regolare ove poter effettuare le proiezioni; pertanto cercheremo di posizionare questa parete il più vicino possibile all'oratore, lasciandogli lo spazio necessario per muoversi.

Inoltre, si terrà conto dell'angolo visuale degli spettatori situati sui lati nonché la possibilità di proiezioni doppie.

Le misure che utilizzeremo sono:



Soluzioni possibili





OPZIONE 2

79



OPZIONE 3

Il primo passo consiste nel trovare la forma della campana (in pianta) utilizzando come criterio un grafico del suono riflesso avente macchie uniformi e con i valori più alti possibili (nella scala predefinita) per far sì che i maggiori beneficiari siano le ultime file del pubblico. Lavorando col programma, troveremo e confronteremo le diverse opzioni per determinare la soluzione ritenuta ottimale per il nostro progetto.

N.B. Settare la scala in modalità manuale tra 70 e 79 dB per ottenere un grafico confrontabile con questo illustrato.

Vediamo allora le opzioni 1, 2 e 3:

- **Opzione 1**: con questa forma le macchie sono irregolari ed il suono riflesso oscilla tra 74 e 78 dB. Ricordando che le file di maggior interesse sono le ultime, in questo grafico osserviamo che la posizione delle pareti laterali genera un'energia acustica molto povera nella parte posteriore del pubblico. Pensando anche all'estetica, osserviamo che la sala risulta molto allargata e lo spazio appare grande e architettonicamente pesante.

- **Opzione 2**: in questo caso otteniamo un miglioramento significativo. Tuttavia, le ultime file del pubblico continuano ad essere le meno beneficiate; si osservano valori troppo bassi nella parte posteriore, in particolare negli angoli.

- **Opzione 3**: le macchie sono molto più uniformi. Abbiamo 79 dB nelle prime file e perdiamo solo 3 decibel nella parte posteriore (76 dB).

Notiamo una leggera perdita energetica nelle posizioni laterali più estreme (in giallo = 75 dB) perché non tutti i muri riflettono il suono verso questi posti, ma potremmo compensare questo leggero difetto con dei riflettori appesi. Pertanto tra queste tre opzioni, sceglieremo la terza perché presenta aspetti più positivi rispetto alle altre.

Il risultato che segue è stato ottenuto da chi scrive approssimando il disegno sottostante:



DISEGNO DELLA PIANTA CON AREA PER IL PUBBLICO

Analisi dell'Opzione 3

L'ideale per il nostro progetto è che ciascuna parete copra completamente l'area occupata dal pubblico. Se il caso non si presta, ci sforzeremo affinché il suono riflesso sia indirizzato a beneficio delle ultime file, dal momento che le prime sono già favorite dal suono diretto.

- La scena (il palco)

I grafici mostrano che le pareti riflettono il suono sino alle ultime file coprendo anche una buona percentuale di quelle laterali; pertanto il suono è ben distribuito in tutta l'area interessata.



- Le ultime file

Questa parte dell'auditorio è spesso la più difficile da migliorare. Senza dubbio, nei grafici, vediamo come le pareti da sole riescono a coprire quasi l'intera area del pubblico. Le parti che non riflettono il suono sono proprio quelle più vicine al palco.



La terza opzione sostanzialmente soddisfa le esigenze di progetto, tuttavia essa rappresenta solo un punto di partenza per arrivare alla risposta acustica ottimale.

Qui ci limitiamo a presentare un'idea generale del lavoro che consenta di sviluppare il progetto; il lettore che utilizzerà il programma, saprà sicuramente trovare soluzioni migliori tenendo conto sia degli aspetti geometrici sia pratici (come ad esempio la posizione ottimale di una lavagna luminosa o di un proiettore).

DISEGNO DELLA SEZIONE

Altezza della sorgente e dei recettori

Per posizionare la sorgente, si consideri una persona di statura media di 165 cm di altezza con la bocca a circa 15 cm al di sotto, come mostrato nel grafico. Nel caso del ricevitore, usiamo la stessa persona seduta. Le loro orecchie si trovano così a circa 125 cm da terra.



STRUTTURA DEL TETTO (SOFFITTO)

Il tetto svolge un ruolo molto importante in quanto può rafforzare la funzione acustica riflettente delle pareti, in particolare nei settori in cui queste diventano insufficienti.

Il criteri da seguire sono: "allungare" la sala portando l'energia riflessa nei settori più critici della stanza. Per questo occorre prestare tutta la nostra attenzione verso quelle aree meno esposte alla copertura sonora.

Dopo aver studiato diverse opzioni, siamo giunti alla seguente soluzione:





Le due pareti verticali ed il soffitto del palco coprono tutto il pubblico. Il riflettore sospeso copre l'area centrale, carente in pianta, ed il soffitto di fondo sala copre le ultime file, che ne hanno sempre bisogno.

VERIFICA IN TRE DIMENSIONI

Per scoprire come funziona il nostro "design acustico", dobbiamo ora armonizzare i calcoli presentati in pianta ed in sezione, sommare i loro contributi ed ottenere così valori tridimensionali che ci aiuteranno a controllare la qualità e l'uniformità del campo sonoro riflesso risultante. Per fare questo, abbiamo scelto sei punti sparsi nell'area del pubblico e, per ciascuno di essi abbiamo introdotto:

- In pianta, come valore di "shift" del ricevitore, la differenza di altezza tra la sorgente e il ricevitore (0,25 metri).

- In sezione, un valore di "shift" del ricevitore.

Abbiamo così ottenuto i seguenti risultati:



POSIZIONE 1

PIANTA

SEZIONE



I RISPETTIVI DIAGRAMMI POLARI

POSIZIONE 5



PIANTA

SEZIONE



I RISPETTIVI DIAGRAMMI POLARI

POSICIÓN	COORDENADAS DEL RECEPTOR	L ^d _p	L ^r p	L ^{tot} p
P1	P(0, 3, 0.25) S(3, 1.25, 0)	85.4 dB	82.7 dB	87.3 dB
P2	P(0, 5, 0.25) S(5, 1.25, 0)	78.1	81.6	83.2
P3	P(0, 7.5, 0.25) S(7.5, 1.25, 0)	73.4	79	80.1
P4	P(4, 7.5, 0.25) S(7.5, 1.25, 4)	71.8	78.6	79.4
P5	P(4, 5, 0.25) S(5, 1.25, 4)	74.5	79.8	80.9
P6	P(4, 3, 0.25) S(3, 1.25, 4)	76.4	80.5	81.9

TABELLA DEI PUNTI OSSERVATI E DEI RISPETTIVI LIVELLI SONORI

Se gli assi della pianta e della sezione corrispondono, e se non equivochiamo il valore dello "shift", il livello sonoro diretto deve avere lo stesso valore sia in pianta sia in sezione, come riportato nella prima colonna della tabella (Ldp).

Quindi (con la "utils"→"dB sum") sommiamo i valori del livello sonoro riflesso corrispondente alla pianta ed alla sezione: otteniamo così il livello sonoro riflesso totale (Ltp), riportato nella seconda colonna della tabella.

Nella terza colonna, sommiamo i valori delle prime due colonne ottenendo il livello sonoro totale (Lrp = diretto + riflessioni in pianta + riflessioni in sezione) corrispondente realmente al livello atteso giacché il nostro manufatto, non avendo pareti inclinate o riflettori con inclinazione doppia, produce scarse riflessioni multiple (la maggior parte dell'energia riflessa è infatti diretta verso il pubblico, che l'assorbe).

I risultati dei grafici polari mostrano che solo nella prima posizione (P1), il livello sonoro diretto supera il livello sonoro riflesso (campo diretto). <u>Nelle altre posizioni, il suono riflesso supera sempre il suono diretto riflesso</u> (campo riflesso), il che significa che l'architettura di progetto interviene.

Nel campo riflesso i livelli sono abbastanza uniformi (compresi tra 79 e 83 dB circa) e nella posizione più lontana dalla sorgente (P4), si è ottenuto un guadagno di 7 dB.

Certamente questi risultati potrebbero essere migliorati ottimizzando ulteriormente il disegno, tuttavia sono già rappresentativi delle caratteristiche acustiche che si possono ottenere con la nostra scelta (pubblico "allargato"). Sarebbe interessante confrontarli con l'altra disposizione del pubblico (in profondità) in cui la base di partenza è più carente (maggiore distanza del pubblico) ma in cui le possibilità acustiche d'intervento sono maggiori (lati del palco vicini alla sorgente, più spazio disponibile per appendere i riflettori). Al lettore il compito di trasformare questo progetto essenzialmente acustico, in un disegno architettonico completo ...

PRESENTAZIONE DEL PROGETTO ACUSTICO



PIANTA DELLA CAMPANA ACUSTICA [NON IN SCALA]



LA SCENA/PALCO



LA PARETE DI FONDO SALA



VISTA AEREA ESTERNA



VISTA LATERALE ESTERNA

FINE DOCUMENTO