

4° CAPITOLO

VALUTAZIONI SOGGETTIVE

4.1 Indagini statistiche

L'uso di indagini statistiche per lo studio della qualità acustica è da molto tempo lo strumento principale utilizzato per la comprensione dei complessi fenomeni di valutazione soggettiva. Sabine, ad esempio, si servì di un ristretto numero di musicisti per decidere il valore ottimale del tempo di riverberazione di una sala del conservatorio [1], sebbene a rigore egli non valutasse statisticamente le risposte dei soggetti, ma richiedesse al gruppo una risposta collegiale.

Ovviamente le indagini sulla qualità acustica delle sale furono inizialmente basate sulla reputazione delle sale stesse, attraverso ricerche che richiedevano la formulazione di giudizi sulle esperienze avute in sale conosciute. In tal modo vengono operati confronti fra eventi estremamente lontani nel tempo e nello spazio, ed è difficile che i risultati ottenuti da simili procedure forniscano validi risultati. In questo campo rimane classico l'esempio di Parkin [71], che nel 1952 pubblicò il risultato dell'analisi statistica di un questionario inviato a 170 esperti musicali, dei quali la maggior parte non erano musicisti, poiché l'autore riteneva che i giudizi degli esecutori di un brano fossero tendenzialmente discrepanti da quelli degli spettatori.

Solo 42 questionari furono analizzati statisticamente, poiché gli altri esperti o non risposero alle domande o risultarono privi di una sufficiente conoscenza comparativa delle sale in esame (12 vecchie sale da concerto inglesi). Veniva chiesto semplicemente, per ogni sala, di esprimere uno dei tre possibili giudizi di qualità: buono, mediocre, cattivo. I risultati furono abbastanza coerenti, ma non evidenziarono un legame evidente con il tempo di riverberazione, poiché le prime tre sale classificate presentavano un T pari rispettivamente a 1.6 , 1.1 e 2.2 s.

Anche Beranek [15] utilizzò questionari per valutare la reputazione delle 52 sale da lui studiate, ma non utilizzò esplicitamente una trattazione statistica dei risultati, riconducendo le risposte a categorie di giudizio predefinite in base a criteri del tutto estranei all'analisi stessa dei dati.

Va notato comunque che fu subito chiara una differenza metodologica sostanziale fra due tipi contrapposti di formulazione dei giudizi: da un lato viene chiesta unicamente una valutazione di qualità complessiva, o per meglio dire di preferenza, mentre dall'altro si cerca di evidenziare numerosi, distinti aspetti soggettivi della percezione del suono, cui di volta in volta sono stati assegnati svariate denominazioni quali intimità,

chiarezza, calore, pienezza, etc. . Il secondo approccio consente sicuramente un maggior dettaglio nei giudizi, ancor più se per ogni aspetto soggettivo viene chiesto di assegnare un punteggio; purtroppo ciò rende estremamente più complessa la trattazione successiva dei dati, e per di più è stato provato che la scelta delle denominazioni degli aspetti studiati ed il loro numero influenzano notevolmente i risultati, i quali divengono perciò scarsamente confrontabili.

Ai di là della scelta del tipo di questionario, è evidente che le statistiche soggettive sono tanto più valide quanto minori sono i fattori esterni che intervengono sul giudizio: è inevitabile infatti che i soggetti giudichino non solo quanto sentono, ma anche quanto vedono, e che siano influenzati da svariati fattori quali la comodità dei sedili di sale diverse, il confort termoigrometrico, le condizioni psicofisiche, etc. . Sarebbe necessario evitare tutte queste interferenze, rendendo possibili in rapida successione confronti di sale diverse.

La soluzione a questo problema è stata ottenuta grazie alla tecnica della presentazione in camera anecoica di brani musicali registrati con tecnica binaurale in sale diverse, o in diversi posti della stessa sala. Questa tecnica, sviluppata contemporaneamente dai gruppi di

Göttingen [20] e di Berlino [21], consiste nella creazione di spezzoni musicali di prova, ottenuti irradiando nello ambiente in esame musica anecoica attraverso un altoparlante (questa è la procedura usata dal gruppo di Göttingen), ovvero facendo eseguire nelle diverse sale dalla stessa orchestra lo stesso brano musicale (come invece è stato fatto dal gruppo di Berlino): teste artificiali, piazzate nei punti di misura, consentono poi la registrazione stereofonica dei segnali di prova.

Le registrazioni vengono in seguito fatte ascoltare ai gruppi di ascolto tutte in uno stesso ambiente, in rapida successione: in questo modo è possibile effettuare confronti comparati, in assenza di tutti i fenomeni di disturbo su riportati. I risultati migliori si ottengono se i soggetti non conoscono la provenienza delle registrazioni ascoltate, poiché altrimenti i giudizi vengono influenzati, anche inconsciamente, dalla reputazione delle varie sale.

La tecnica di riproduzione adottata dal gruppo di Göttingen prevede l' utilizzo, in camera anecoica, di due altoparlanti alimentati con i segnali registrati tramite i microfoni aurali, filtrati in modo da eliminare l' ascolto incrociato del suono proveniente dall' altoparlante opposto all' orecchio voluto. Viceversa il gruppo di Berlino ha utilizzato la riproduzione tramite cuffia

stereofonica, cosa che consente di eseguire contemporaneamente il test su un elevato numero di persone, ma che produce alcuni problemi di localizzazione della sorgente (confusione antero-posteriore) e rende esagerata l' impressione spaziale.

Dal punto di vista della tecnica di indagine, le procedure di confronto di brani registrati danno le più ampie garanzie di obbiettività e ripetibilità: la corretta deduzione di risultati significativi da questi tests dipende dunque solo da una appropriata trattazione statistica dei dati così ottenuti.

4.2 Analisi dei dati

Una corretta procedura di indagine statistica consente di ottenere dati significativi sui giudizi espressi da un numero elevato di soggetti. Per estrarre da questi giudizi le informazioni che interessano, in particolare l'influenza delle caratteristiche oggettive del campo acustico sui giudizi stessi, è stata sviluppata una teoria di analisi statistica denominata **analisi dei fattori** [72]: in questo contesto con il termine "fattore" si intende esclusivamente un aspetto indipendente (fisico o no) che influenza significativamente i giudizi.

L'analisi dei fattori è un metodo del tutto generale di trattazione statistica, che può essere applicato allo studio sia delle variabili oggettive, che di quelle soggettive: in entrambi i casi i dati di partenza sono raggruppati in una matrice. Si consideri prima l'analisi di dati oggettivi; la matrice ha per righe i valori di parametri oggettivi diversi (ad es. tempo di riverberazione, livello, IACC, etc.), mentre ogni colonna si riferisce ad un diverso punto di misura (anche in sale diverse). Nel caso dell'analisi di dati soggettivi, ogni riga corrisponde ad un diverso aspetto del giudizio, ed ancora ogni colonna corrisponde ad un diverso punto di misura (o diverso brano musicale). Nel primo caso gli

elementi della matrice sono i valori dei parametri fisici misurati nei vari punti, mentre nel secondo caso sono i punteggi complessivi assegnati a ciascun aspetto del giudizio soggettivo per il campo acustico presentato.

Lo scopo della analisi dei fattori è quello di esprimere la matrice [x], formata dalle n righe ed N colonne dei dati di partenza con il prodotto di altre due matrici, [w] e [f], dette rispettivamente matrice dei pesi e matrice dei fattori:

$$\begin{bmatrix} x_{i1} & \dots & x_{iN} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{ni} & \dots & x_{nN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & \dots & w_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ w_{ni} & \dots & w_{nm} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{1N} \\ \vdots & & \vdots \\ f_{m1} & \dots & f_{mN} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

la seconda è costituita da un numero m di righe pari al numero di fattori indipendenti, e da un numero N di colonne (rappresenta dunque il valore dei fattori in ogni punto di misura), mentre la prima è costituita di un numero n di righe e da un numero m di colonne (ogni colonna rappresenta dunque il peso assegnato ai fattori sull'aspetto corrispondente dei dati).

Un esempio pratico chiarisce meglio la trattazione: si consideri l'analisi di dati oggettivi, costituita dalla

determinazione del livello d' ascolto, del tempo di riverberazione e del tempo di ritardo della prima riflessione in 7 diverse sale. Il numero di aspetti oggettivi è dunque $n=3$, mentre il numero di punti di misura è $N=7$; dall' analisi fattoriale, si evidenzia che due soli fattori sono in grado di spiegare i risultati ($m=2$), ciascuno dei quali ha un peso diverso sul valore complessivo di ciascuno dei 3 aspetti oggettivi. I dati iniziali, contenuti in una matrice 3×7 , vengono espressi dal prodotto della matrice dei pesi 3×2 e della matrice dei fattori 2×7 .

Essendo i due fattori indipendenti (per definizione), è possibile rappresentare tutti i dati ottenuti su un diagramma cartesiano, aventi per assi i due fattori stessi. In base al valore dei pesi assegnati al legame fra ciascun fattore e ciascun aspetto oggettivo, è anche possibile disegnare un punto corrispondente a ciascuno dei parametri oggettivi di partenza; questo punto è tanto più vicino all' asse di un fattore, quanto più esso pesa su quel parametro oggettivo. E' altresì possibile calcolare il grado di correlazione fra i valori dei parametri fisici stessi, in base alla distanza fra i loro punti rappresentativi.

La trattazione analitica che porta all' ottenimento delle due matrici cercate può essere vista come l' analogo

della soluzione di un problema matematico degli autovalori, o come la ricerca degli assi principali di inerzia di un corpo rigido. Esistono ormai procedure standardizzate per la soluzione di questi problemi. Se comunque $m < n$, in generale non è possibile individuare una soluzione esatta al problema, e si cerca dunque una soluzione approssimata servendosi del metodo dei minimi quadrati. Il grado di approssimazione ottenuto può essere valutato dalla varianza normalizzata dei fattori stessi; essa rappresenta la frazione della varianza complessiva dei dati di partenza che viene "spiegata" dal fattore in questione. La somma delle varianze normalizzate dei fattori non raggiunge mai l'unità, a meno che il numero di fattori sia uguale a quello degli aspetti fisici studiati; il grado di approssimazione ottenuto è tanto migliore quanto più bassa è la "varianza non spiegata".

L'approccio comunemente seguito è quello di effettuare anzitutto una soluzione analitica esatta con $n=m$, valutare l'importanza relativa dei fattori ottenuti, e poi scartare quelli poco significativi in modo da ridurre il grado di complessità del problema (si cerca usualmente di portarsi con $m=2$, in modo da poter ottenere rappresentazioni grafiche sul piano).

Anche senza ridurre il numero di fattori rispetto al numero di aspetti fisici si ottiene un risultato utile

dall' analisi dei fattori, poiché si hanno a disposizione parametri **indipendenti** al posto di quelli di partenza, tutti più o meno correlati.

Classiche analisi di questo tipo hanno consentito lo studio dei principali aspetti soggettivi della percezione sonora: si riportano qui, a titolo di esempio, i risultati ottenuti da Wilkens [73], che studiò i punteggi ottenuti da un questionario che prevedeva una scala di valutazione di 6 punti relativa a queste coppie contrapposte di aspetti soggettivi (il punteggio 6 viene assegnato al termine di destra, 1 a quello di sinistra):

1 small	...	large
2 pleasant	...	unpleasant
3 unclear	...	clear
4 soft	...	hard
5 brilliant	...	dull
6 rounded	...	pointed
7 vigorous	...	muted
8 appealing	...	unappealing
9 blunt	...	sharp
10 diffuse	...	concentrated
11 overbearing	...	reticent
12 light	...	dark
13 muddy	...	transparent
14 dry	...	reverberant
15 weak	...	strong
16 emphasized	...	treble
treble		not emphasized
17 emphasized	...	bass
bass		not emphasized
18 beautiful	...	ugly
19 soft	...	loud

Le coppie sono state riportate in inglese, poiché la traduzione in italiano porta ad un appiattimento della terminologia.

L'analisi operata da Wilkens considera dunque 19 aspetti soggettivi, mentre considera come "punti di misura" i singoli questionari riempiti, indipendentemente dal fatto che fossero prodotti da persone diverse o con riferimento a brani musicali o punti d'ascolto diversi.

Il numero N di questionari è molto grande, per cui la analisi statistica ha consentito di approssimare bene la soluzione esatta con un ridotto numero di fattori (si consideri anche che molti aspetti soggettivi sono fortemente correlati).

In fig. 4.1 sono visibili i risultati in forma grafica: sono stati individuati 3 fattori, per cui è stato necessario proiettare su 2 piani coordinati i punti disegnati nello spazio tridimensionale. La distanza fra i punti rappresentativi degli aspetti soggettivi è un indice del grado di correlazione fra gli stessi; alcuni aspetti sono sinonimi di buona qualità (pleasant, beautiful), per cui è possibile valutare l'influenza degli altri aspetti sulla qualità complessiva.

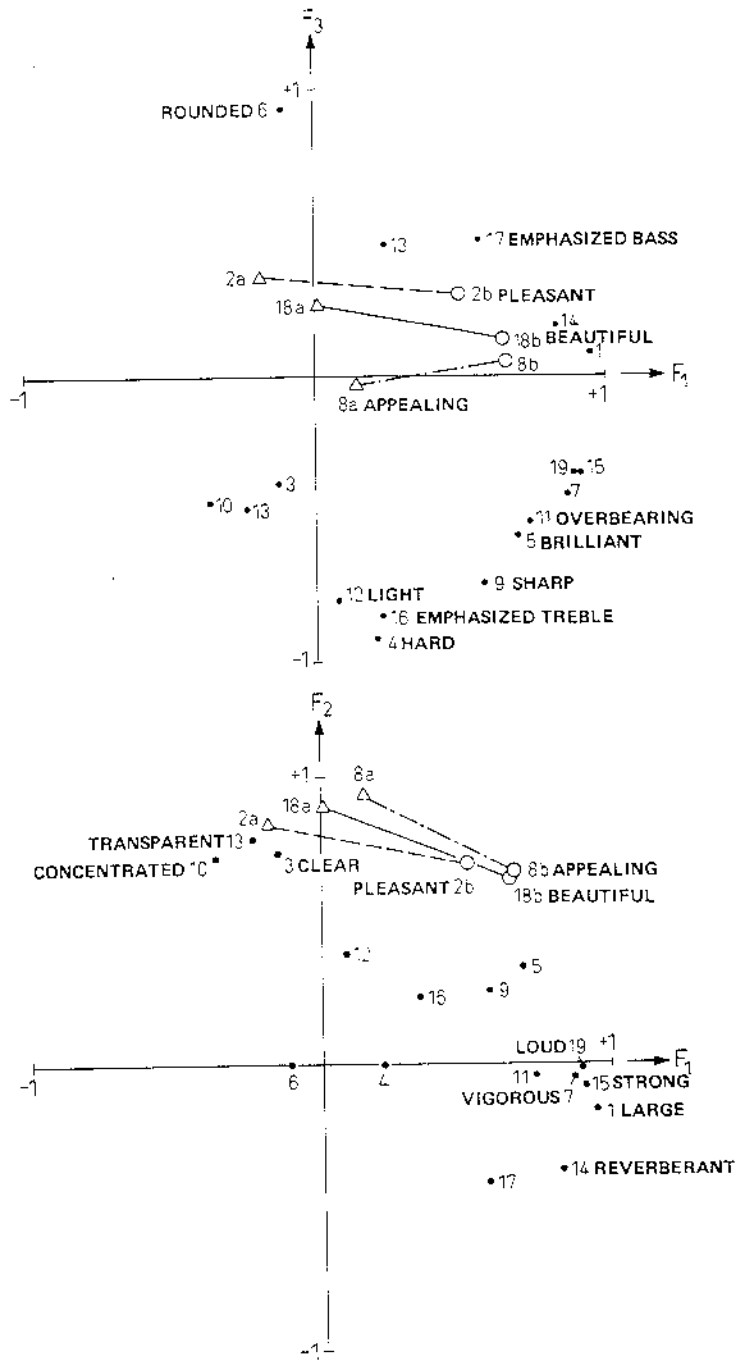


Fig. 4.1: Proiezioni su due piani dello "spazio delle preferenze" ottenuto da Wilkens.

I limiti dell' analisi dei fattori degli aspetti soggettivi discendono però dalla difficile utilizzabilità operativa dei risultati, poiché la conoscenza della importanza di alcuni aspetti invece che di altri non fornisce immediatamente i valori ottimali da imporre, e non consente di evidenziare i legami fra aspetti soggettivi ed oggettivi del campo acustico. Inoltre è stato accertato che la scelta dei parametri soggettivi, dei loro nomi, del loro numero, ed infine dei brani musicali adottati, influenzano in modo rilevante i risultati dell' analisi, e rendono tutto sommato poco convincente la apparente quasi-cerchezza di tipo statistico indicata da una elevata percentuale spiegata della varianza.

Per ottenere le informazioni volute, si è rivelata molto più proficua l' analisi dei giudizi comparativi, che ha fornito al gruppo di Gottingen i risultati più proficui.

4.3 Giudizi comparativi

La tecnica dei giudizi comparativi non è semplicemente un diverso modo di estrarre informazione dai risultati statistici, ma piuttosto una differente impostazione del concetto di valutazione soggettiva. Anziché richiedere ai soggetti una valutazione assoluta della qualità acustica o di particolari sensazioni uditive, si chiede semplicemente di scegliere la presentazione musicale preferita fra una coppia di presentazioni, ottenute dallo stesso brano musicale registrato in punti diversi.

In questo modo il giudizio non è influenzato da numerosi fattori contemporaneamente, ma solo dalle effettive **differenze** fra i due brani presentati. Sottoponendo un elevato numero di presentazioni ad un elevato numero di soggetti, si può ottenere un punteggio per ciascuna presentazione semplicemente sommando il numero di volte che essa è stata preferita da un soggetto. Si ricostruisce così una matrice dei giudizi di preferenza, avente tante righe quante le presentazioni musicali e tante colonne quanti i soggetti.

Una analisi di questo tipo è stata effettuata da Siebrasse [74], che ha studiato i giudizi di 13 soggetti su 25 sale da concerto (molte delle quali con più di un punto di misura). Le varianze normalizzate dei primi

7 fattori spiegano già il 99% della varianza complessiva, come è mostrato dalla fig. 4.2. E' stata adottata poi la ulteriore semplificazione di considerare solo i primi 4 fattori, che spiegano il 91% della varianza. La rappresentazione grafica è quadridimensionale, per cui è stato necessario effettuare tre proiezioni su tre piani coordinati, sulle quali sono rappresentati sia il valore dei fattori in corrispondenza ai punti di misura, sia i pesi assegnati da ciascun soggetto a ciascun fattore.

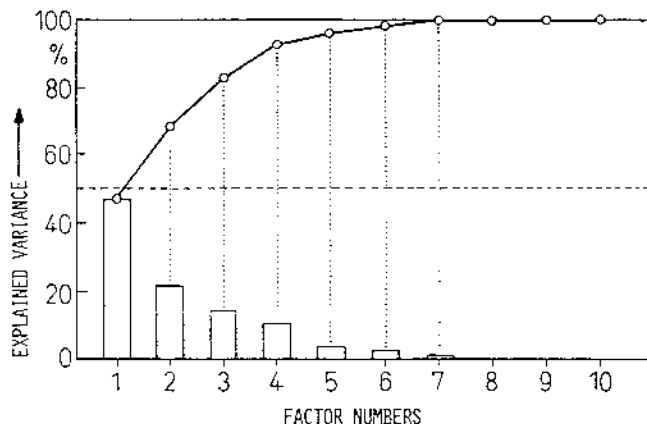
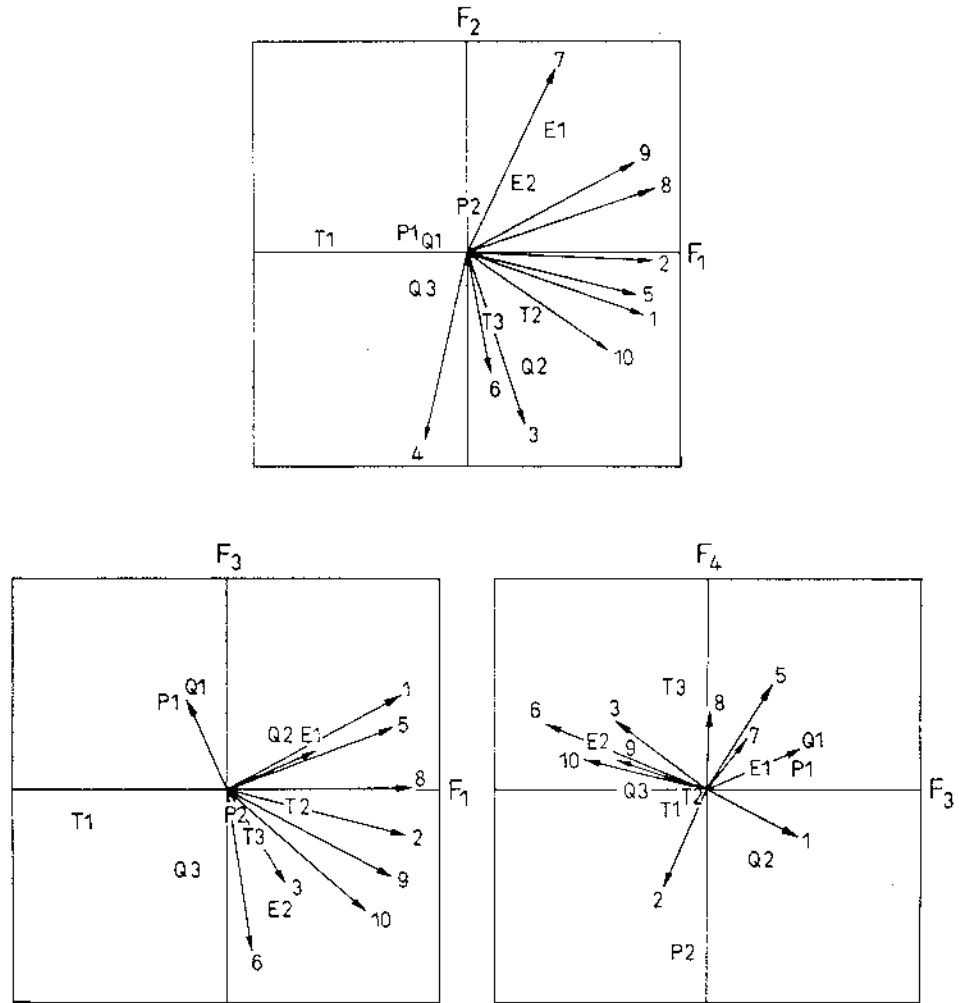


Fig. 4.2: Percentuali della varianza complessiva spiegate dai fattori ottenuti da Siebrasse.



Representation of a four-dimensional factor space by three factor-planes. The letters denote different halls, their indices denote different seats in them, and the straight lines with numbers correspond to different test persons. (After Siebrasse.)

Fig. 4.3: Proiezioni su tre piani dello "spazio delle preferenze" ottenuto da Siebrasse "didascalia originale).

In fig. 4.3 si possono osservare le tre proiezioni suddette: in particolare si nota che tutti i soggetti, tranne uno, danno peso positivo al fattore F_1 , che può dunque essere considerato il "fattore di consenso". Viceversa per gli altri fattori i soggetti considerati danno pesi estremamente variabili, non mostrando neppure una qualche tendenza al raggruppamento in gruppi dai gusti simili.

La qualità acustica delle varie sale può essere pertanto ritenuta elevata se il punto rappresentativo della sala stessa si trova ad avere un alto valore di F_1 , ed è così possibile realizzare una scala di qualità (o meglio di preferenza) che consenta di affermare se uno degli ambienti studiati è migliore di un altro e di quanto.

L'analisi eseguita secondo la tecnica di Siebrasse è priva degli effetti negativi legati all'uso di categorie di giudizio mal definite ed in parte interdipendenti, e consente in linea di principio di valutare **comparativamente** la qualità acustica di tutte le sale da concerto del mondo. È anche possibile raffrontare fra loro i risultati di analisi comparative diverse, tramite artifici matematici che rendono sovrapponibili le scale di qualità, purché le analisi diverse comprendano un certo numero di sale in comune.

Nonostante che la tecnica delle indagini comparative rimuova molti dei vincoli presenti nella analisi dei fattori di giudizio assoluti, è stata sentita l'esigenza di correlare i risultati soggettivi al valore numerico dei parametri oggettivi usati per descrivere le caratteristiche fisiche del campo acustico. Ciò è stato reso possibile dall'introduzione dei parametri oggettivi stessi quali variabili dipendenti dei fattori ottenuti: in pratica, dopo l'analisi dei tests di preferenza e la determinazione dei valori dei fattori per ogni presentazione musicale, si cerca la relazione matriciale che collega i fattori stessi ai parametri oggettivi corrispondenti a ciascuna presentazione. Ciò corrisponde a considerare la matrice dei fattori come il risultato del prodotto di una matrice dei pesi per la matrice dei valori dei parametri oggettivi nelle varie presentazioni:

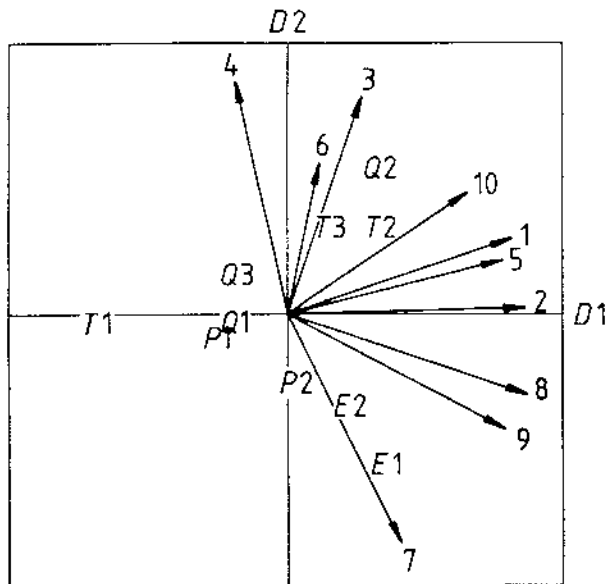
$$\begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{1N} \\ \vdots & & \vdots \\ f_{m1} & \dots & f_{mN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1q} \\ \vdots & & \vdots \\ c_{m1} & \dots & c_{mq} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1N} \\ \vdots & & \vdots \\ p_{q1} & \dots & p_{qN} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

in cui q è il numero di parametri oggettivi considerati, m è il numero di fattori significativi e N è il numero di

diverse presentazioni musicali (ottenute da diversi posti in diverse sale).

Apparentemente si tratta ancora della soluzione di un problema agli autovalori come nel caso della individuazione dei fattori, ma in effetti in questo caso sono già determinate sia la matrice $[f]$, sia la matrice $[P]$, per cui si tratta semplicemente di risolvere un sistema lineare di equazioni per determinare la matrice dei coefficienti $[c]$; dall'analisi statistica del legame funzionale indiretto fra i parametri oggettivi ed i fattori indipendenti può poi venire calcolato il coefficiente di correlazione fra i parametri oggettivi ed i fattori indipendenti. Spesso si ottiene una miglior correlazione utilizzando, come variabili P nella matrice dei parametri oggettivi, non direttamente i valori numerici dei parametri, ma loro funzioni esplicite (ad esempio il logaritmo del valore).

Una analisi di questo tipo è stata svolta da Gottlob, Schroeder e Siebrasse [75]: essi hanno utilizzato 10 presentazioni musicali, provenienti da sedili situati in 4 sale dal tempo di riverberazione piuttosto breve, e 10 soggetti. Nella figura 4.4 è visibile il risultato della analisi dei fattori dei giudizi comparativi ottenuti: sono stati ottenuti 3 soli fattori, dei quali il terzo ben poco influente rispetto ai primi due, e dotato di una vasta

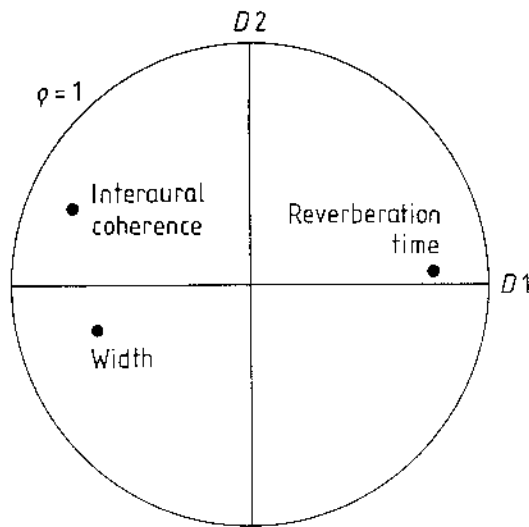


Preference space for 10 seats in 4 concert halls with reverberation time less than 2.2s. Dimension D1 is called "consensus preference", and D2 reflects individual preference differences (10 sound fields and 10 German subjects) E, P, Q, T denote sound fields from corresponding concert halls; numbers 1-10 denote subjects

Fig. 4.4: Proiezione su un piano dello spazio delle preferenze ottenuto da Gottlob, Schroeder e Siebrasse (didascalia originale).

dispersione dei coeff. di peso dei soggetti; è stata quindi considerata la sola proiezione dello "spazio delle preferenze" sul piano definito dai primi due fattori. Anche in questo caso il primo fattore (qui chiamato D1) mostra peso positivo per tutti i soggetti tranne uno, per cui è stato considerato come indice del consenso ("consensus preference"), mentre il secondo fattore viene considerato un indice delle differenze individuali di gusto.

Sono stati calcolati i coefficienti di correlazione fra alcuni parametri oggettivi ed i due fattori più



Correlation of three objective parameters with dimensions D1 and D2

The IACC has the highest negative correlation with D₁, "consensus preference"

Fig. 4.5: Correlazione fra parametri oggettivi e fattore F₁ (didascalia originale).

significativi citati: in fig. 4.5 è rappresentata graficamente la correlazione fra 3 parametri ed i fattori. Va notato che in questa analisi sono stati considerati i valori assoluti dei parametri fisici, e che tutte le presentazioni musicali venivano eseguite allo stesso livello d'ascolto (80 dB(A)). Si nota una forte correlazione positiva tra il consenso ed il tempo di riverberazione, mentre la correlazione è negativa per la IACC e la larghezza della sala: ciò significa che un tempo di riverberazione troppo breve è sgradito, mentre sono gradite sale strette (forti riflessioni laterali) e dotate

di bassa coerenza inter-aurale.

Il significato di analisi combinate oggettive-soggettive quale quella qui citata è evidentemente molto più comprensibile dei risultati ottenuti dai giudizi di qualità per categorie. E' bene però tenere conto che le particolari sale analizzate influenzano i coefficienti di correlazione ottenuti, e non è pertanto possibile generalizzare i risultati a situazioni diverse da quelle studiate; se ad esempio si analizzano solo sale con tempo di riverberazione eccessivo, si ottiene una correlazione **negativa** fra questo parametro oggettivo ed il consenso.

E' tuttavia possibile normalizzare il valore dei parametri oggettivi tramite opportuni legami funzionali, in modo che i risultati dell'analisi di sale diverse, con soggetti diversi, siano del tutto consistenti; ciò è lecito però solo nell'ipotesi che i parametri oggettivi considerati siano tra loro statisticamente indipendenti.

4.4 Scale di valutazione della preferenza

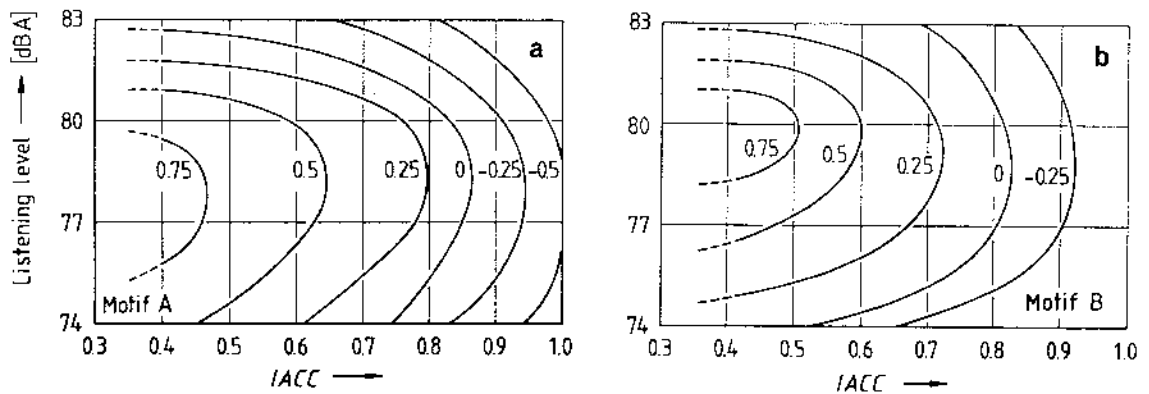
Nella ipotesi che esista un certo numero di parametri oggettivi **indipendenti** che influenzano il giudizio di preferenza, è possibile ottenere per ciascuno di essi una scala di valutazione lineare della preferenza, e si può quindi valutare la preferenza complessiva di un campo acustico qualsiasi sommando i valori di preferenza parziale ottenuti dalle scale dei parametri indipendenti. Ciò costituisce l' applicazione del principio di sovrapponibilità degli effetti, insito nelle ipotesi di linearità delle scale di preferenza e di indipendenza dei parametri di partenza.

In base ai risultati ottenuti da Ando e coll. riguardo le condizioni d' ascolto preferite (già citati nel cap. 1) [32,34,35,36], si può ipotizzare che quattro parametri fisici influenzino indipendentemente la qualità acustica: livello di ascolto, tempo di riverberazione, tempo di ritardo della prima riflessione (ITDG), coerenza inter-aurale (IACC).

Rielaborando i dati ottenuti dall' analisi dei fattori dei giudizi di preferenza, secondo le diverse combinazioni di variabilità di due parametri, con gli altri due mantenuti costanti al valore preferito, Ando è riuscito a

definire il legame funzionale fra i parametri oggettivi stessi ed il "fattore di consenso" F_1 ; questo legame è stato riportato in forma grafica per ciascuna coppia di parametri variabili.

Nella fig. 4.6 è visibile ad esempio il legame fra il fattore di consenso e la coppia livello d'ascolto-IACC, per due diversi brani musicali [39]: le curve rappresentano il luogo dei punti di uguale preferenza. Si nota che i due parametri non sono effettivamente del tutto indipendenti, poiché il valore del livello che rende massima la preferenza varia leggermente al variare della IACC.

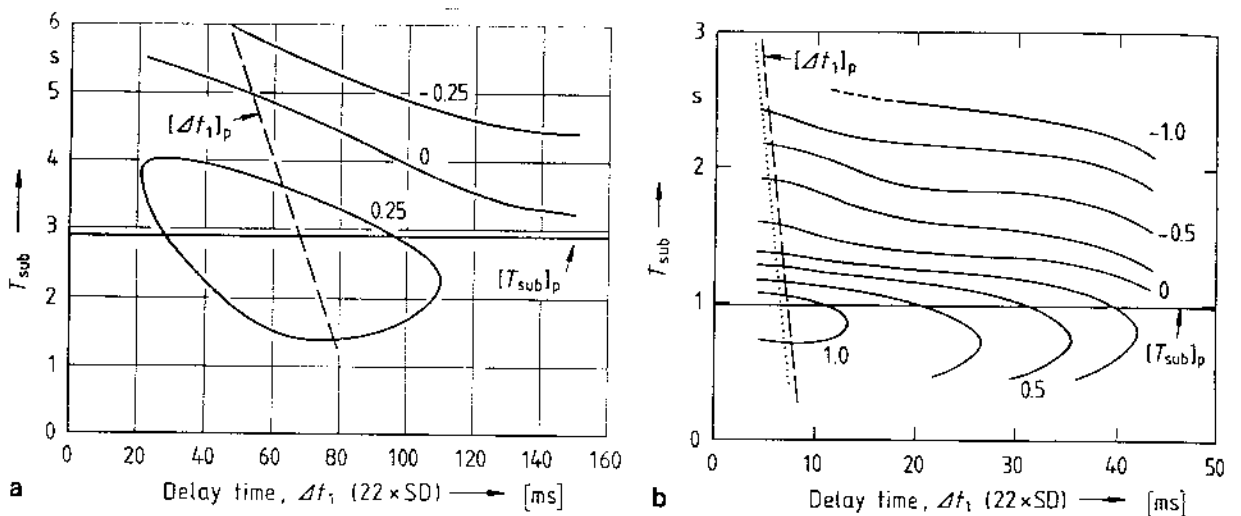


Contour lines of equal preference for the sound fields vs IACC and listening level (12 sound fields) (a) Music motif A (Gibbons), (16 Japanese subjects); (b) music motif B (Arnold), (16 Japanese subjects)

Fig. 4.6: Fattore di consenso F_1 in funzione del livello d' ascolto e della IACC (didasc. orig.).

Questo effetto è comunque poco pronunciato, ed è possibile accettare l'ipotesi di mutua indipendenza. Anche l'influenza del brano musicale appare trascurabile.

Nella fig. 4.7 è invece visibile il legame fra il consenso e la coppia di parametri tempo di riverberazione soggettivo (T_{sub}) e ITDG, per gli stessi due brani musicali [38]. Sui diagrammi è anche riportato il luogo dei punti che rendono massima la preferenza per ciascuno dei due parametri, e si nota che mentre il valore preferito del tempo di riverberazione non dipende dallo ITDG, il valore preferito di quest'ultimo dipende



Contour lines of equal preference for the sound fields vs Δt_1 (or SD) and T_{sub} . The dashed line is the preferred value of the initial time-delay gap between the direct sound and the first reflection, The solid line is the preferred value of the subsequent reverberation time, (a) Music motif A (Gibbons), (9 Japanese subjects); (b) music motif B (Arnold), (14 Japanese subjects)

Fig. 4.7: Fattore di consenso F_i in funzione del tempo di ritardo della prima riflessione e del tempo di riverberazione (didasc. orig.).

leggermente dal primo (i valori preferiti si trovano su una retta non perfettamente verticale); anche in questo caso i due parametri possono essere considerati con sufficiente approssimazione indipendenti.

Osservando le differenze fra i due diagrammi, si nota che stavolta i valori del fattore di consenso dipendono fortemente dal tipo di brano musicale; se però si normalizzano i parametri oggettivi rapportandone il valore effettivo al valore preferito (che dipende, come è stato visto nel cap. 1, dalla durata effettiva della funzione di autocorrelazione del brano musicale), si ottiene un legame funzionale fra il fattore di consenso e la coppia tempo di riverberazione - ITDG praticamente indipendente dal brano musicale stesso.

Utilizzando la stessa tecnica di normalizzazione per il livello di ascolto, ma in termini di differenza fra il livello effettivo e quello preferito per il brano musicale adottato, viene ulteriormente migliorata la similitudine fra le curve riportate nella precedente figura 4.6.

Infine è stata studiata la coppia tempo di riverberazione - IACC, della quale purtroppo non è stato pubblicato il diagramma funzionale [40]; comunque lo utilizzo del tempo di riverberazione normalizzato al valore preferito consente anche in questo caso di rendere il legame funzionale indipendente dal brano musicale

adottato.

Le indagini psicofisiche suddette sono state eseguite con soggetti e campi acustici diversi, pertanto non è possibile sovrapporre direttamente i valori dei fattori di consenso ottenuti da esse. In particolare, estraendo il legame funzionale fra ogni singolo parametro ed il fattore di consenso, esso differisce in generale per una costante moltiplicativa ed una costante additiva dal legame funzionale dello stesso parametro determinato in una diversa indagine. Si può cioè ammettere che esista una funzione $g(x_i)$ del parametro x_i (normalizzato, per quanto detto sopra) indipendente dalla particolare analisi svolta, funzione che è legata al fattore di consenso effettivamente ottenuto dalla:

$$F_i = A + g(x_i) \cdot B \quad (4.3)$$

Nella quale le costanti A e B dipendono dalla particolare analisi svolta.

E' quindi possibile ridurre i legami funzionali ottenuti graficamente ad una unica scala di preferenza, mediante l'applicazione agli stessi di un fattore di scala (1/B) e di uno slittamento dell'origine (-A/B). La

indipendenza dei parametri consente poi di imporre uno slittamento dell'origine arbitrario, dal momento che la scala della preferenza non fornisce una indicazione assoluta ma solo relativa della qualità acustica; è stato pertanto scelto di annullare il valore dell'indice di consenso nella condizione preferita, imponendo per ogni parametro l'uguaglianza della costante A al valore del fattore F_1 massimo corrispondente alla condizione preferita.

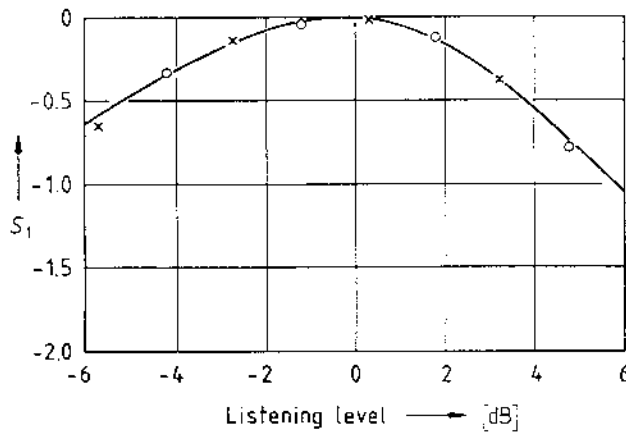
Per riportare alla stessa scala i risultati di tre analisi diverse è necessario mettere in scala due di esse rispetto alla terza: ciò si ottiene facilmente imponendo che i parametri comuni a due delle tre analisi su riportate siano legati al valore di F_1 dalla stessa funzione $g(x_1)$. Per determinare i fattori di scala sono dunque disponibili due equazioni: tramite queste due equazioni sono stati calcolati i valori dei parametri B . In questo modo è possibile definire una scala di preferenza per ciascun parametro oggettivo, avente zero come valore massimo ed unità consistenti fra le varie scale; sommando i valori numerici delle scale si ottiene lo indice di preferenza complessivo.

In base alle ipotesi di linearità di questa trattazione, l'indice di preferenza ottenuto va pensato come un indicatore della distanza del campo acustico dalle

condizioni ideali per il particolare brano musicale adottato.

L' influenza dei parametri oggettivi sull' indice complessivo non è uguale per i vari parametri, anche se le singole scale di preferenza S_1 hanno unità consistenti, poiché sono diversi i legami funzionali $g(x_1)$ che legano i valori dei parametri oggettivi ai valori S_1 degli indici di preferenza.

Nella fig. 4.8 viene riportato il diagramma dello indice di preferenza del livello d' ascolto S_1 , in funzione del parametro normalizzato tramite sottrazione del valore preferito ($x_1 = L - L_{pref}$).



Scale values of preference as a function of listening level.

(o) Music motif A; (x) music motif B. The smoothed curve is drawn through the plot and the scale value at the most preferred listening level is adjusted to zero

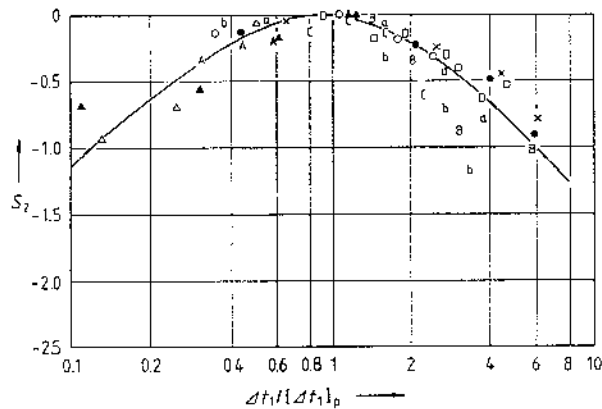
Fig. 4.8: Indice di preferenza del livello d' ascolto (didasc. orig.).

Ando ha proposto di approssimare la distribuzione dei dati sperimentali con la relazione:

$$S_1 = -w_1 \cdot \left| x_1 \right|^{3/2} \quad w_1 = \begin{cases} 0.07 & (x_1 > 0) \\ 0.04 & (x_1 < 0) \end{cases} \quad (4.4)$$

In cui il coeff. w_1 assume i valori indicati a seconda del segno del parametro normalizzato.

In fig. 4.9 viene riportato il diagramma dell' indice di preferenza S_2 relativo all' ITDG; in questo caso il diagramma è disegnato in funzione del logaritmo del rapporto del valore attuale di ITDG con il PRvalore ottimale ($x_2 = \log(\text{ITDG}/\text{ITDG}_{\text{pref}})$).



Scale values of preference as a function of the initial time-delay gap Δt_1 . Different symbols indicate the scale values obtained by different test series.

Music motif A; (x, b, B, ▲) music motif B; (C, D) music motifs C and D; (□) music motif E; (●) speech S. The scale value at the most preferred delay time is adjusted to zero

Fig. 4.9: Indice di preferenza del tempo di ritardo della prima riflessione (didasc. orig.).

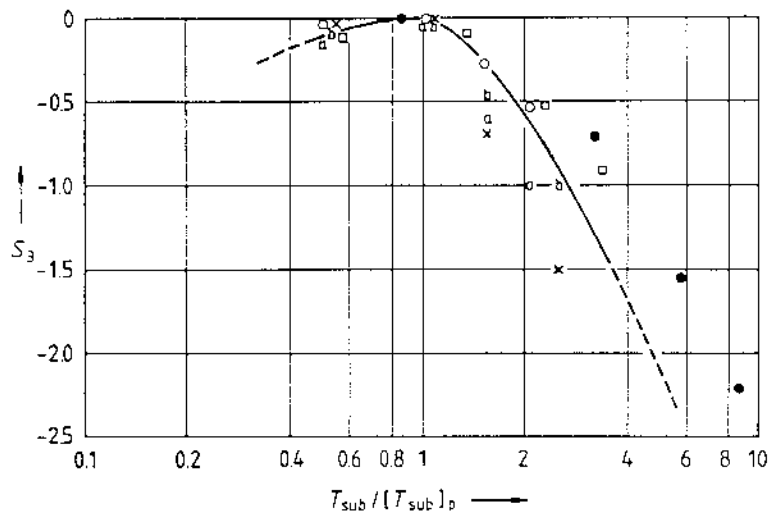
La relazione proposta da Ando per rappresentare i dati sperimentali é costituita dalla:

$$S_2 = -w_2 \cdot \left| x_2 \right|^{3/2} \quad w_2 = \begin{cases} 1.42 & (x_2 > 0) \\ 1.11 & (x_2 < 0) \end{cases} \quad (4.5)$$

Anche in questo caso si ha la dipendenza del coeff. w_2 dal segno del parametro normalizzato x_2 .

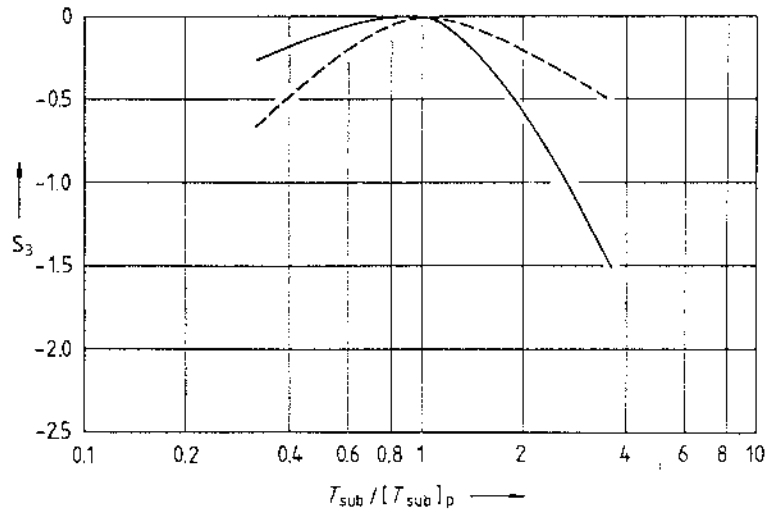
In fig. 4.10 sono riportati due diagrammi che mostrano il legame fra l' indice di preferenza S_2 ed il tempo di riverberazione soggettivo T_{sub} , quest' ultimo normalizzato allo stesso modo dell' ITDG, facendo cioè il logaritmo del rapporto con il tempo di riverberazione ottimale ($x_2 = \log(T_{sub}/T_{sub\ pref})$).

Il primo diagramma mostra un tentativo di rappresentare i dati secondo una relazione simile a quelle già introdotte per il livello e l' ITDG; i dati sono però dispersi attorno alla curva proposta; una approssimazione molto migliore si ottiene assegnando valori del coeff. w_2 dipendenti non solo dal segno del parametro normalizzato, ma anche dal rapporto A fra la ampiezza fittizia della prima riflessione e l' onda diretta. Questa grandezza viene definita da Ando con il seguente rapporto:



Scale values of preference as a function of the subsequent reverberation time.

(○, a) music motif A; (×, b) music motif B; (□) music motif E; (●) speech S. The scale values at the most preferred reverberation time are adjusted to zero



Average scale values of preference as a parameter of the total amplitude of reflections A .
 (—) $A = 4.1$;
 (---) $A = 1.1$

Fig. 4.10: Indice di preferenza del tempo di riverberazione (didasc. orig.).

$$A = \left[\frac{\int_{5 \text{ ms}}^{\infty} g^2(t) dt}{\int_0^{5 \text{ ms}} g^2(t) dt} \right]^{1/2} \quad (4.6)$$

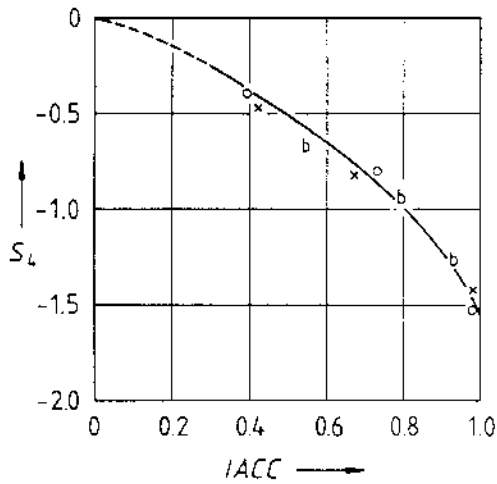
Ove $g(t)$ è la risposta all'impulso fra la sorgente sonora ed il punto di ascolto.

Nel secondo diagramma sono mostrati due casi estremi, ottenuti rispettivamente per $A=1.1$ e $A=4.1$; ciò corrisponde a valutare l'indice di preferenza S_3 in questo modo:

$$S_3 = -w_3 \cdot \left| x_3 \right|^{3/2} \quad w_3 = \begin{cases} 0.45+0.74A & (x_3 > 0) \\ 2.36-0.42A & (x_3 < 0) \end{cases} \quad (4.7)$$

La dipendenza del coefficiente w_3 da A è molto marcata solo per valori positivi del parametro normalizzato, come d'altronde appare anche dal primo dei due diagrammi di fig. 4.10.

Infine in fig. 4.11 è riportato il legame funzionale fra l'indice di preferenza S_4 ed il valore della IACC, senza alcuna normalizzazione ($x_4 = IACC$).



Scale values of preference as a function of the IACC.

(O) Music motif A; (x, b) music motif B. The maximum value of interaural cross correlation must be maintained at $\tau = 0$ to ensure frontal localization of the sound source

Fig. 4.11: Indice di preferenza della IACC (didaec. orig.).

Al contrario dei casi precedenti, appare un costante incremento della preferenza al calare della IACC, cosicché i dati possono essere rappresentati bene da un unico legame funzionale:

$$S_4 = -w_4 \cdot \left| x_4 \right|^{3/2} \quad (w_4 = 1.45) \quad (4.8)$$

Utilizzando le scale di preferenza ottenute da Ando e dai suoi collaboratori è dunque possibile valutare la

qualità acustica di una sala da concerto attraverso la determinazione dell' indice di preferenza complessiva, ottenuto dalla somma dei quattro indici S_1 , S_2 , S_3 e S_4 .

Lo stesso Ando ha poi mostrato come sia facile ricavare indicazioni progettuali dalla condizione di massimo dell' indice di preferenza, e come sia possibile valutare i parametri oggettivi di una sala con mezzi analitici, quando la stessa é ancora in fase di progettazione [44,45].

Nel presente lavoro sono state utilizzate le scale di preferenza per la valutazione oggettiva della qualità di sale esistenti, in seguito a misure sperimentali dei parametri oggettivi, e per la individuazione degli interventi correttivi da effettuare sulle sale stesse per migliorare le condizioni d' ascolto.

In seguito alla valutazione dei singoli indici di preferenza in tutti i punti di un ambiente, sono stati calcolati i valori medi di ciascuno di essi. Rapportando ciascuno di questi valori medi al valor medio dell' indice di preferenza complessivo, si definisce la incidenza percentuale del parametro fisico considerato sulla qualità complessiva. Osservando le diverse incidenze percentuali dei quattro parametri, é poi facile stabilire su quali di essi convenga intervenire per migliorare globalmente la acustica della sala.