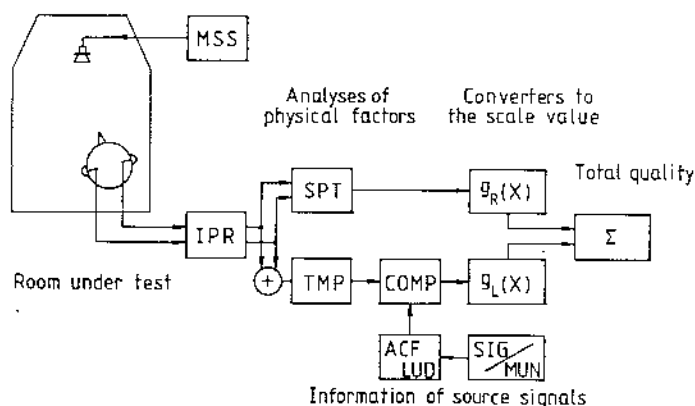


5° CAPITOLO

**PROCEDURA DI MISURA
E VALUTAZIONE**

5.1 Schema concettuale

Nel presente capitolo viene illustrata una procedura per la misura dei principali parametri fisici, e per la valutazione in base ad essi di una scala di preferenza soggettiva; ciò rappresenta la realizzazione pratica dello schema concettuale proposto da Ando [45], illustrato nella fig. 5.1 .



A diagnostic system analyzing the four physical factors and evaluating the sound quality at each seat in a existing room. MSS: M-Sequence signal; IPR: Impulse response analyzers; SPT: Spatial factor (IACC); TMP: Temporal factors (LL , Δt_1 , T_{sub} ; A); $g_R(X)$: Spatial factor to scale-value converter; $g_L(X)$: Temporal factors to scale-value converters; Σ : Total quality calculator; COMP: Comparators; ACF, LUD: Autocorrelation function or τ_e , Loudness information from musical note; SIG/MUN: Source signals and/or musical notes

Fig. 5.1: Schema del sistema d' analisi della qualità acustica proposto da Ando.

Riprendendo in esame la proposta citata, si possono osservare le seguenti particolarità riguardanti le tecniche di misura:

- 1) Generazione di un segnale sonoro di prova mediante la tecnica del rumore pseudo-casuale prodotto da un registro di scorrimento con sequenza di massima lunghezza (si tratta di un segnale dalle caratteristiche simili al rumore bianco, ma avente struttura deterministica anziché casuale: ciò consente di estrarre la risposta all' impulso dell' ambiente mediante un processo di deconvoluzione semplificato, inventato da Alrutz [55], che richiede solo operazioni di somma e sottrazione).
- 2) Ricezione del segnale di test attraverso due microfoni collocati al posto dei timpani di una testa artificiale, rivolta verso la sorgente sonora, e collocabile in svariati posti della sala. I microfoni incorporano un filtro di pesatura "A", corrispondente alla sensibilità media dell' orecchio umano.
- 3) Elaborazione delle risposte all' impulso sinistra e destra ($g_1(t)$ e $g_2(t)$) mediante un microcomputer, utilizzando l' algoritmo di Alrutz.
- 4) Valutazione del tempo di riverberazione soggettivo mediante la tecnica della integrazione all' indietro di Schroeder delle risposte all' impulso (vedi par.

2.4.1).

- 5) Valutazione del livello sonoro relativo, supponendo che il livello sonoro preferito venga raggiunto in un punto situato sull'asse di simmetria della sala, ad una distanza fissa (20 m) dalla sorgente sonora (non è infatti nota la potenza sonora delle sorgenti vere).
- 6) Valutazione automatica del tempo di ritardo della prima riflessione, la cui ampiezza fittizia A viene determinata dalla relazione 4.6.
- 7) Valutazione della Correlazione Mutua Inter-Aurale, definita come il valore max della correlazione mutua delle due risposte all'impulso misurate dalle orecchie nell'intervallo (-1..+1) ms di sfasamento fra i due segnali.
- 8) Introduzione dall'esterno dei dati riguardanti il tipo di musica, ed eventualmente della potenza sonora della sorgente; in particolare è richiesta la durata effettiva della funzione di autocorrelazione t'_p .
- 9) Valutazione per i parametri fisici di tipo monofonico-temporale del logaritmo del rapporto del valore attuale col valore massimo preferito.
- 10) Calcolo per ciascun parametro fisico normalizzato del corrispondente valore dell'indice di preferenza, e calcolo dell'indice di preferenza globale come somma dei 4 indici di preferenza parziali.

La realizzazione pratica della procedura è stata resa possibile da un complessa strumentazione digitale controllata da un microcomputer: l'intera strumentazione è portatile, cosicché è possibile eseguire direttamente nella sala oggetto di misura tutte le fasi della elaborazione primaria dei dati, e volendo anche la fase di restituzione dei risultati.

La strumentazione adottata non ha consentito di utilizzare esattamente lo stesso schema proposto da Ando, come verrà meglio illustrato in seguito; tuttavia i parametri fisici ottenuti sono gli stessi, pertanto sono state applicate le stesse relazioni per il calcolo degli indici di preferenza. Il sistema realizzato è aperto ad ulteriori sviluppi, in particolare non appena saranno disponibili le scale di valutazione soggettiva di altri parametri fisici oggettivi, quali ad esempio lo spettro della funzione di trasferimento tra sorgente ed ascoltatore, sarà sufficiente sommare il corrispondente indice di preferenza agli altri 4 già determinati, in base alle leggi della teoria della preferenza.

In effetti già oggi il sistema di acquisizione memorizza su disco per ogni punto di misura molte informazioni in più rispetto a quelle utilizzate per la valutazione dell'indice di preferenza, quali appunto lo spettro della funzione di trasferimento, i tempi di

riverberazione in bande d' ottava, e le risposte allo impulso delle due orecchie; sarà dunque possibile sfruttare in un secondo tempo questi dati, e le misure eseguite oggi non sono pertanto destinate a diventare obsolete in breve tempo. Ulteriori indagini nel campo psicosoggettivo permetteranno di interpretare meglio tutti i dati oggettivi raccolti.

5.2 Hardware

In questo paragrafo vengono descritte dettagliatamente le apparecchiature utilizzate, lo schema di collegamento delle stesse ed i problemi incontrati riguardo al funzionamento del sistema

La strumentazione é costituita essenzialmente da 4 diversi strumenti: la sorgente sonora, la testa artificiale, l' analizzatore di Fourier ed il microcomputer; essi sono connessi fra loro da un sistema di cavi e da una unità di commutazione automatica delle connessioni gestita dal microcomputer.

La restituzione grafica dei risultati é affidata ad un plotter-printer collegabile sia all' analizzatore di Fourier che al computer, e ad una stampante grafica a matrice di punti collegabile soltanto al computer.

5.2.1 La sorgente sonora

E' stata utilizzata una sorgente sonora Bruel & Kjaer tipo 4234, dotata di un unico altoparlante frontale di grosse dimensioni con tweeter concentrico, visibile in fig. 5.2.

Lo spettro tipico di questa sorgente, alimentata con rumore bianco, é visibile nella fig. 5.3, ottenuta da una analisi effettuata in campo libero: come si vede é tutto altro che piatto, per cui é necessaria una equalizzazione del segnale emesso. Si nota anche una scarsa potenza emessa alle basse frequenze, che ha consigliato lo utilizzo di rumore rosa, onde incrementare il rapporto segnale/disturbo appunto alle frequenze piú basse. La caratteristica direttiva della sorgente é invece piuttosto vicina alla omnidirezionalitá.

L' equalizzazione viene ottenuta nel corso della misura stessa, tramite un microfono di riferimento collocato in stretta vicinanza del cono dello altoparlante, come si vede appunto nella fig. 5.2.

Il supporto del microfono é studiato in modo che il livello di pressione sonora misurato sia uguale al livello di potenza della sorgente; infatti, nella zona prossima alla sorgente, ove il campo riverberante é ininfluyente, si ha:

$$L_p = L_w + 10 \log \frac{Q}{4\pi r^2} \quad (5.2)$$

ed é stato scelto r in modo che sia $r^2 = Q/4\pi$, per cui si ha $L_p = L_w$.

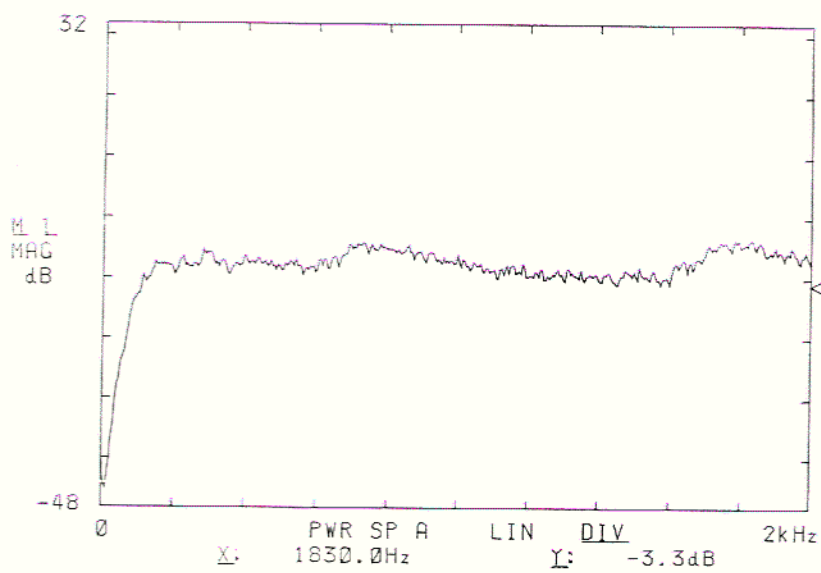
Il microfono di riferimento é esattamente identico a quelli collocati nella testa artificiale, pertanto esso serve anche ad equalizzare il sistema microfonico di acquisizione dati.

La sorgente é dotata di alimentazione interna, e non richiede pertanto la connessione alla rete elettrica; quest' ultima é peraltro sempre consigliabile, poiché la capacità delle batterie non consente una lunga autonomia di funzionamento alla massima potenza, potenza richiesta proprio nelle sale piú grandi, ove maggiore é il numero di punti di misura da campionare.

Pur essendo la sorgente dotata di un generatore interno di rumore rosa, si é preferito pilotarla tramite un segnale esterno proveniente o dall' analizzatore di Fourier, o dal microcomputer stesso: in questo modo é possibile regolare a piacimento la potenza sonora emessa,



CURVA DI RISPOSTA DELLA SORGENTE B&K 4234
2kHz A:AC/0.5V B:AC/50V S.SUM 64/64 DUAL 1k



Figg. 5.2 e 5.3: Sorgente sonora B&K 4234 e curva di risposta in frequenza.

senza doversi avvicinare alla sorgente mentre essa è in funzione; inoltre la sorgente viene spenta improvvisamente per la misura del tempo di riverberazione, e rimane spenta fino alla successiva collocazione della testa artificiale in un nuovo punto di misura.

La sorgente ed il microfono di riferimento sono connessi alla restante strumentazione tramite un apposito doppio cavo schermato con terminali BNC, lungo circa 70 m onde consentire l'installazione della apparecchiatura lontano dal palcoscenico, in un luogo ove il mutuo disturbo con la misura in corso sia ridotto al minimo.

5.2.2 La testa artificiale

La testa artificiale utilizzata é visibile in figura 5.4, installata sul cavalletto necessario a mantenerla nella corretta posizione sui sedili oggetto di misura: essa é in materiale plastico morbido, ed é riempita internamente di schiuma poliuretana, nella quale sono scavati i passaggi per i fili ed i microfoni.



Fig. 5.4: Testa artificiale.

La testa fu ideata come manichino per la prova di acconciature, ed è pertanto dotata di sembianze tipicamente femminili (al contrario di quelle usate dagli altri gruppi di ricerca nel mondo), che le hanno valso il soprannome di Sabina, in omaggio evidentemente al fondatore dell'acustica degli spazi chiusi.

Nonostante l'esemplare utilizzato non sia dotato di un apparato auricolare riprodotto con grande dettaglio, come sono viceversa altre teste artificiali già usate per questo tipo di ricerche, le funzioni di trasferimento ottenute fra una sorgente sonora lontana ed i microfoni auricolari sono sufficientemente prossime a quelle ottenute da misure su teste umane, considerata la discreta variabilità di queste ultime.

I microfoni usati sono del tipo a condensatore, con transistor di preamplificazione FET incorporato: essi richiedono pertanto una semplice alimentazione con corrente continua ad 1.5 V, ottenuta da una pila alcalina contenuta nel contenitore d'alluminio collocato sotto la testa stessa; esso contiene anche i condensatori per il disaccoppiamento della componente continua del segnale prodotto, nonché i trimmer di calibrazione della preamplificazione dei microfoni.

La calibrazione è stata effettuata collocando i tre microfoni (i due della testa e quello di riferimento) allo

interno di una piccola cavità, assieme ad un piccolo altoparlante per cuffie stereo di alta qualità, e regolando le amplificazioni fino ad ottenere una uguale funzione di trasferimento fra il microfono di riferimento ed i due microfoni della testa. E' stato comunque necessario provare numerosi microfoni, prima di trovarne tre perfettamente identici. In fig. 5.5 sono visibili le curve di calibrazione così ottenute.

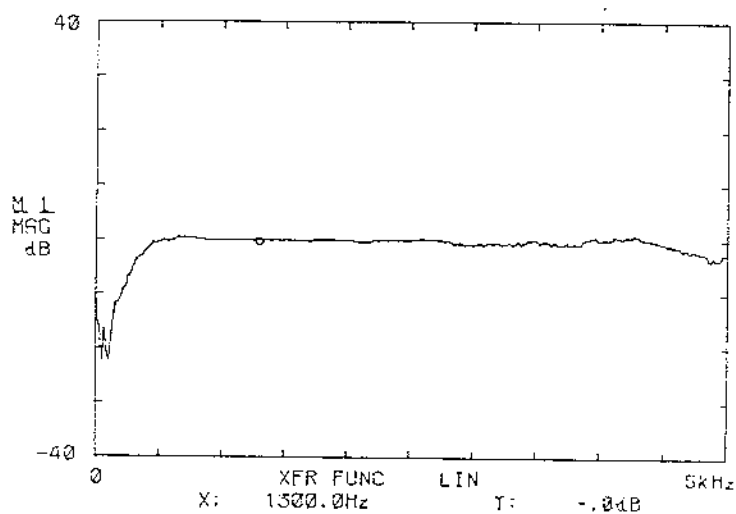
Sul contenitore d'alluminio sottostante la testa è anche collocato un piccolo pulsante, che connette a massa uno dei due segnali in uscita dai microfoni: ciò serve a comunicare al sistema di acquisizione che la testa è stata collocata in nuovo punto di misura, e pertanto a far partire la nuova acquisizione.

La testa artificiale è connessa all'analizzatore di Fourier tramite un commutatore a relais, controllato dal microcomputer, che consente di selezionare il segnale microfonici da porre a confronto con il segnale di riferimento proveniente dal microfono situato vicino alla sorgente. All'interno della unità di commutazione un secondo relais consente al computer di rilevare la pressione del pulsante situato sulla testa, come detto sopra.

Il cavo di connessione è identico a quello utilizzato per la sorgente, e consente grande libertà di movimento

all' interno della sala, essendo recuperabile su un apposito avvolgitore.

CURVA DI RISPOSTA DEL MICROFONO SINISTRO 00:29
5kHz A:AC/0.2V B:AC/0.2V S.SUM 64/64 DUAL 1K



CURVA DI RISPOSTA DEL MICROFONO DESTRO 00:33
5kHz A:AC/0.2V B:AC/0.2V S.SUM 64/64 DUAL 1K

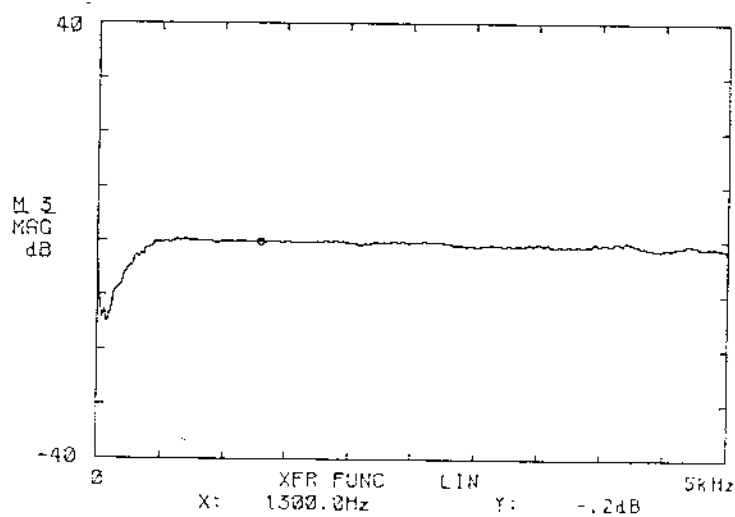


Fig. 5.5: Curve di calibrazione dei microfoni.

5.2.3 L' analizzatore di Fourier

E' stato utilizzato un analizzatore bicanale Ono Sokki mod. CF 920, visibile in fig. 2.15; si tratta di uno strumento dotato di numerose possibilità, fra le quali vanno citate la unità a microdisco interna, sulla quale possono essere registrati i risultati delle misure, la interfaccia GPIB - IEEE 488 per la connessione con computers esterni, e funzioni avanzate per lo studio dei sistemi lineari, in particolare è presente il software necessario al calcolo della Risposta all' Impulso $g(t)$ mediante la trasformata di Fourier inversa della funzione di trasferimento fra i due canali dello strumento (secondo il procedimento illustrato nel par. 2.4).

L' analizzatore è il cuore del sistema di acquisizione, ma viene utilizzato intensamente anche nel corso della successiva elaborazione dei dati, poiché è in grado di calcolare la funzione di cross-correlazione e di auto-correlazione, può agire come processore FFT (Fast Fourier Transform) per il computer esterno, e può stampare autonomamente i dati tramite un apposito plotter a colori.

Nel corso della acquisizione vengono calcolate la risposta all' impulso e la funzione di trasferimento fra il microfono di riferimento ed il microfono situato nello

orecchio selezionato dal computer. Le due misure vengono poi ripetute per l'altro orecchio, ed i 4 risultati così ottenuti vengono memorizzati sul microdisco incorporato.

Viene infine calcolato il tempo di riverberazione, acquisendo nella memoria transiente il decadimento sonoro conseguente allo spegnimento della sorgente; questo transiente viene analizzato in ottave (anche se è possibile pure l'analisi in terzi d'ottava), ed i livelli sonori così ottenuti vengono inviati al computer con un passo di scansione di 20 ms. E' dunque il computer a calcolare la pendenza media delle curve di decadimento, e ad estrapolare dai primi 15 dB di esse il tempo di riverberazione di ogni banda d'ottava (oltre ovviamente a quello complessivo).

Contrariamente alla procedura di Ando, il tempo di riverberazione non viene dunque calcolato sulla base della risposta all'impulso, mediante l'integrazione allo indietro di Schroeder: infatti la durata della risposta all'impulso ottenuta, variante da 50 a 150 ms, non consente di ottenere buoni risultati con quella tecnica. La durata della risposta all'impulso potrebbe essere aumentata riducendo la frequenza massima dell'analisi di Fourier, ma già il valore adottato di 2 kHz appare troppo basso in relazione all'estensione della scala musicale. Inoltre questa procedura più classica produce risultati

molto ben sovrapponibili a quelli ottenuti per confronto con strumentazioni di tipo analogico, mentre la tecnica di Schroeder dá risultati diversi se il decadimento non é perfettamente esponenziale.

Le misure della funzione di trasferimento e della risposta all' impulso avvengono dunque in regime stazionario, con la sorgente che irradia una potenza costante: ciò consente di mediare i risultati, ed é stato scelto un numero N di analisi mediate pari a 64, come miglior compromesso fra la riduzione dell' effetto del rumore di fondo e la durata della misura stessa. La misura del tempo di riverberazione avviene viceversa in base ad un unico evento transitorio, e per di piú attraverso un solo orecchio (il sinistro): ciononostante prove successive hanno mostrato una sufficiente ripetibilitá dei valori del tempo di riverberazione cosí ottenuti.

L' analizzatore é in grado di provvedere il rumore rosa per il pilotaggio della sorgente sonora, interrompendo poi il segnale al momento opportuno, al ricevimento dell' apposito comando da parte del computer.

E' anche possibile modificare il segnale emesso, facendogli attraversare il circuito di filtraggio e miscelazione audio presente nel computer.

Sono stati fatti esperimenti di filtraggio "A" del segnale proveniente dalla testa artificiale, in accordo

con lo schema di Ando; il filtraggio ha però peggiorato il rapporto segnale/disturbo e la dinamica del segnale, e pertanto si è preferito eliminarlo, ricorrendo in sostituzione ad un filtraggio digitale del segnale allo interno dell' analizzatore, che ha effetto soltanto sul calcolo del livello di ascolto, e non sulla determinazione della risposta all' impulso.

Riguardo la successiva elaborazione dei dati, sono sorti alcuni problemi dovuti a rigidità del software interno all' analizzatore, che non consentiva di effettuare la cross-correlazione di due risposte allo impulso: il problema è stato risolto con un artificio, leggendo le risposte all' impulso tramite il computer esterno e rinviandole all' analizzatore sotto forma di segnali temporali. Analoga procedura è stata seguita per visualizzare la risposta allo impulso quadrata, utile per la individuazione delle riflessioni: la ricerca della prima riflessione non è stata infatti automatizzata, ma viene eseguita manualmente posizionando il cursore sul primo forte picco seguente l' onda diretta.

L' interfaccia con il computer ha dato alcuni problemi di incompatibilità, che hanno richiesto la modifica del cavo di collegamento; inoltre ogni tanto si verifica una condizione d' errore sul bus dati, della quale non è stata individuata alcuna causa apparente, ed alla quale si è

ovviato con opportuni accorgimenti software per il controllo sistematico del funzionamento dell' interfaccia. E' probabile che questi problemi dipendano solo per il 50% dall' analizzatore, essendo il computer responsabile della altra parte.

Va infine segnalata la notevole rumorosità della ventola di raffreddamento dell' analizzatore, che spesso diviene la principale fonte di disturbo durante le misure. Si pensa di provvedere alla sostituzione della stessa con altra meno rumorosa, oppure al suo spegnimento tramite un relais controllato dal computer al momento del decadimento sonoro per la misura del tempo di riverberazione.

5.2.4 Il microcomputer

Per l' interfacciamento con l' analizzatore di Fourier è stato utilizzato un personal computer Commodore SX64, visibile in fig. 5.6: si tratta della serie professionale del diffuso C64, prodotta in versione portatile con unità a disco e monitor a colori incorporati.



Fig. 5.6: Microcomputer Commodore SX64

La connessione con il bus d' interfaccia GPIB - IEEE 488 è stata possibile grazie ad una interfaccia prodotta dalla ditta inglese DAMS, che consente l' accesso agli strumenti collegati direttamente attraverso le istruzioni di controllo delle periferiche già presenti nel linguaggio BASIC standard del C64. Essendo questa interfaccia destinata alla connessione di periferiche Commodore, e non di strumenti di altre marche, è stato necessario modificare leggermente le connessioni del cavo di collegamento. Si è evidenziata anche una lieve incompatibilità software, che ha impedito di effettuare trasferimenti di dati in forma binaria sotto il controllo dell' interprete Basic; il problema è stato risolto scrivendo nuove routines in linguaggio macchina che gestiscono il trasferimento veloce di dati in forma binaria.

Sono stati realizzati complessi programmi per il controllo dell' intera strumentazione in fase di acquisizione e di elaborazione dei dati: è stata inoltre utilizzata una estensione del linguaggio Basic standard, denominata Simons' Basic, per realizzare la restituzione grafica dei risultati ottenuti.

La portabilità dello strumento si è rivelata preziosa per l' utilizzo al di fuori del laboratorio: nonostante i maltrattamenti subiti, non si sono riscontrati

inconvenienti di alcun tipo.

Il C64 é dotato di alcune particolaritá molto interessanti per la realizzazione di controlli a distanza: é infatti dotato di una porta di controllo con 9 linee di input/output completamente programmabili. Due di queste linee sono state utilizzate come uscite, per il controllo dei relais della unitá di commutazione automatica; una terza linea é stata utilizzata come ingresso per il segnale di chiusura del pulsante situato sulla testa, consentendo cosí il controllo a distanza di tutta la strumentazione.

Il controllo della sorgente sonora é possibile secondo tre diverse tecniche: la prima consiste nell' inviare allo analizzatore di Fourier i comandi di accensione e spegnimento del generatore di rumore rosa incorporato in quello strumento; la seconda tecnica consiste nel fare attraversare al segnale proveniente dall' analizzatore il circuito di gestione audio del C64 (chiamato SID, Sound Interface Device), che ne puó regolare il volume in 15 passi e puó filtrare il segnale attraverso un filtro programmabile. La terza tecnica consente di fare a meno del generatore di rumore dell' analizzatore di Fourier, poiché la sorgente viene alimentata direttamente dal segnale proveniente dal generatore di suoni complessi del C64, che puó produrre rumori bianchi, rosa e forme d'onda

triangolari, a dente di sega e rettangolari.

Per quanto riguarda la restituzione grafica dei risultati, sono state collegate al computer due stampanti grafiche a matrice di punti: una Commodore MPS 1000, collegata tramite l'interfaccia seriale standard, ed una Hewlett-Packard ThinkJet, connessa sul bus IEEE 488. E' stato anche sperimentato il plotter WX 4731 in dotazione all'analizzatore di Fourier, ma la complessità del software necessario al suo controllo ne ha reso difficoltoso l'utilizzo.

Il monitor a colori incorporato ha dato qualche problema di nitidezza, poiché le piccole dimensioni non consentono una buona leggibilità dei caratteri.

Va infine segnalato che la disponibilità di manuali molto esaurienti, del disassemblato del Sistema Operativo, e di numeroso software di supporto alla programmazione hanno consentito di operare con facilità in linguaggio macchina, per la velocizzazione delle parti più critiche dei programmi.

5.2.5 Apparecchi ausiliari e schema complessivo

E' stato necessario costruire alcune specifiche apparecchiature per consentire il collegamento di tutte le componenti del sistema. In particolare é stata realizzata la unità di commutazione a relais, visibile in fig. 5.7; in fig. 5.8 é riportato uno schema del suo funzionamento. Scopo di questa unità é connettere alternativamente uno dei due microfoni situati nella testa artificiale al canale "B" dell' analizzatore di Fourier, essendo già il canale "A" connesso permanentemente con il microfono di riferimento. Ciò é ottenuto con un relais, avente la funzione di deviatore, la cui commutazione viene comandata da un transistor, eccitato dal segnale digitale proveniente dalla porta di controllo del calcolatore. Sebbene l' alimentazione al circuito sia fornita dallo stesso calcolatore, é stata evitata ogni connessione elettrica fra la circuiteria dei microfoni e quella dei relais, onde evitare la trasmissione di disturbi durante le misure. La connessione diviene però indispensabile per la rilevazione della pressione del pulsante di controllo sulla testa, ed é stato pertanto installato un secondo relais, che connette una linea microfonica all' ingresso del computer solo nella fase in cui non é in corso la

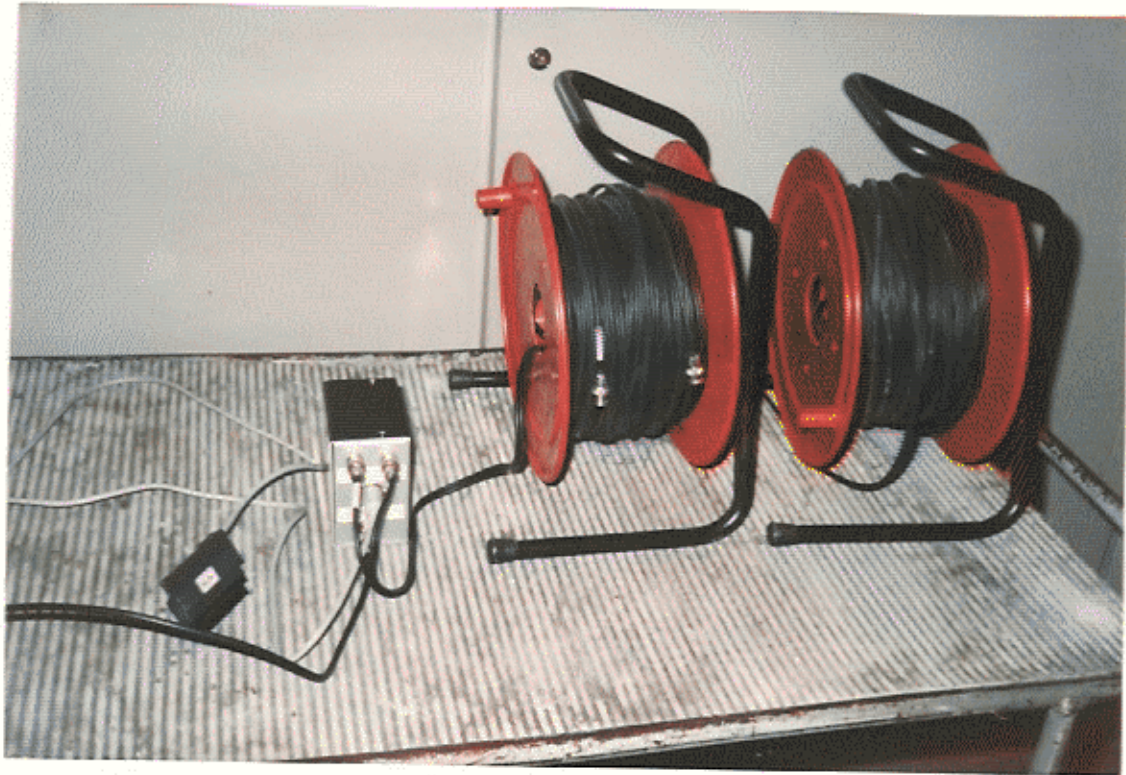


Fig. 5.7: Apparato di connessione e cavi.

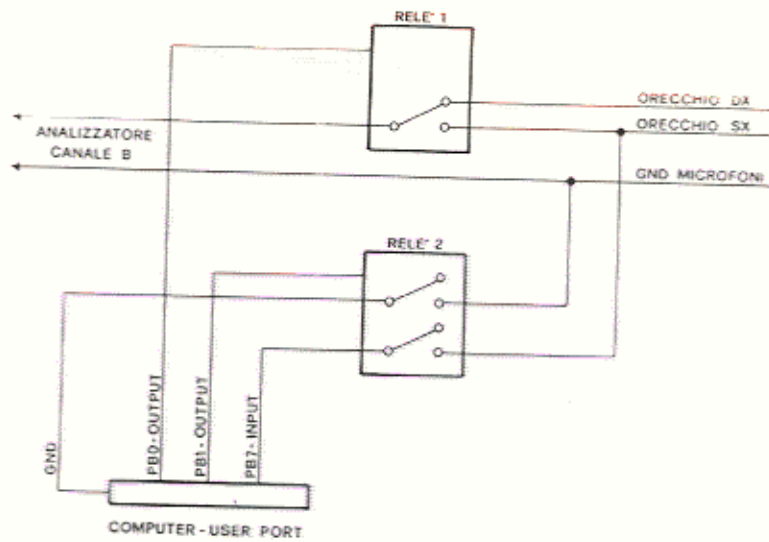


Fig. 5.8: Schema del commutatore a relé.

acquisizione, ed il sistema aspetta il segnale per ripartire.

Sono poi stati realizzati due lunghi cavi doppi con terminali BNC, per il collegamento alla strumentazione principale della sorgente sonora e della testa artificiale; essi sono visibili in fig. 5.7, recuperati sui rispettivi avvolgitori.

In fig. 5.9 è visibile uno schema complessivo dei collegamenti fra i vari strumenti, depurato dei cavi di alimentazione. Tutti i terminali dei cavi sono siglati, in modo da rendere impossibile sbagli durante la installazione degli strumenti nella sala da studiare.

Gli unici seri problemi sono sorti a causa dei cavi di alimentazione, poiché in ogni sala esistono prese di tipo diverso, ed il mancato collegamento a terra del filo di massa rende impossibili le misure a causa dei disturbi di rete. In alcuni casi è stato necessario provvedere con masse volanti esterne, connesse ad armature metalliche facenti parte della struttura del teatro.

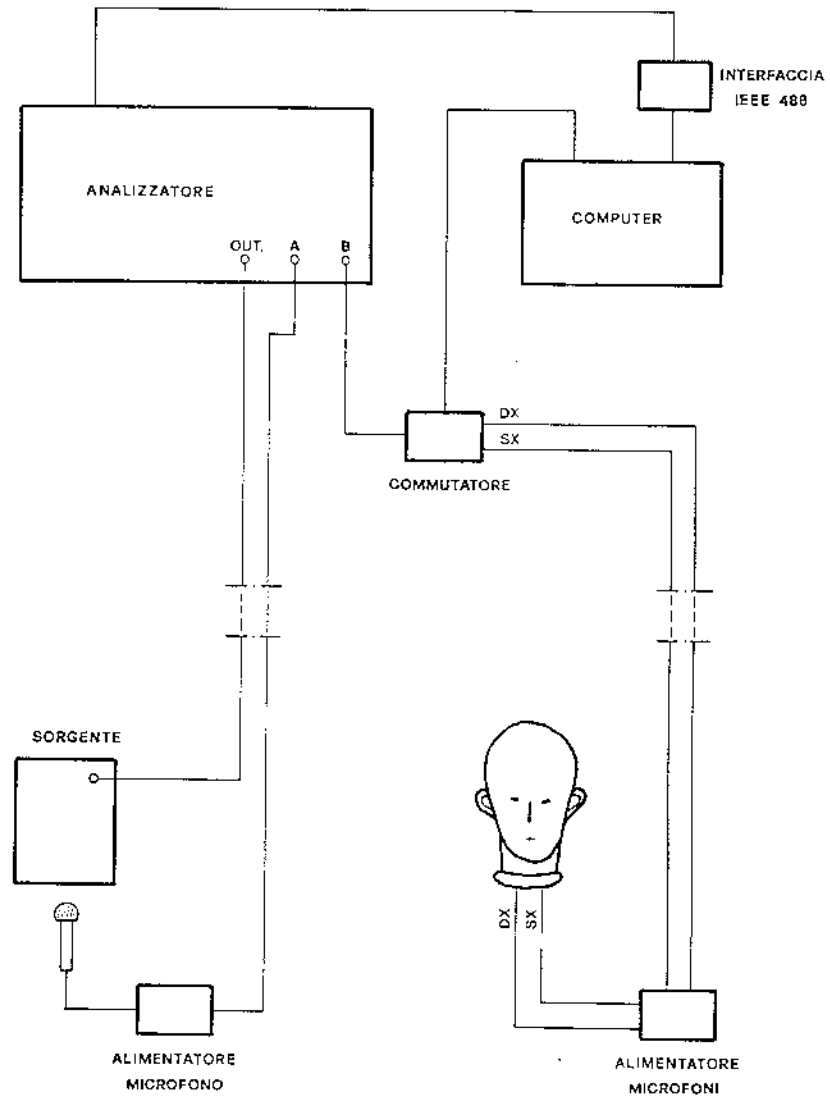


Fig. 5.9: Schema complessivo dei collegamenti.

5.3 Software

E' stato necessario produrre numerosi programmi per il calcolatore, destinati alla gestione dell' acquisizione dati, alla successiva elaborazione degli stessi ed alla presentazione finale dei risultati in forma grafica. I programmi sono stati realizzati in linguaggio Basic, facendo uso di una serie comune di sottoprogrammi per la gestione del video e per l' ingresso controllato dei dati da tastiera.

La filosofia di programmazione adottata è stata quella, molto diffusa, dei menu in cascata: in ogni istante ci si trova dinanzi ad una serie di scelte possibili, nessuna delle quali è mai incongruente con la situazione della strumentazione.

La fase di messa a punto degli algoritmi è stata piuttosto rapida; è stato invece necessario spendere molto più tempo per rendere i programmi, già funzionanti, utilizzabili da chiunque, anche in assenza di una adeguata conoscenza della procedura di misura: lo scopo dichiarato era quello di realizzare un sistema "fool proof" (trad. letterale "a prova di sciocco"), tale cioè che non sia comunque possibile perdere dati o rovinare le misure sbagliando ad usare i programmi.

La scelta fatta è stata dettata dalla volontà di

disporre di una strumentazione pratica, di uso semplice ed immediato, in grado di fornire rapidamente ed efficacemente le informazioni necessarie alla correzione acustica di un locale destinato alla musica.

Le moderne teorie, ed in particolare quella di Ando, sono certamente applicabili nel corso della progettazione di un nuovo teatro, quando è possibile intervenire in svariati modi sulla forma ed i materiali dell' ambiente. Quando viceversa ci si trova a dover correggere una situazione esistente, a tutt' oggi l' unica cosa che si possa fare con sicurezza è misurare i tempi di riverberazione, ed eventualmente introdurre o togliere una certa quantità di materiale fonoassorbente per adattare questo parametro al valore ritenuto ottimale.

La procedura messa a punto consente viceversa di misurare in breve tempo i principali parametri fisici dell' ambiente studiato, in un elevato numero di punti, ottenendo mappature tridimensionali molto facili da interpretare. Di ogni parametro fisico viene anche automaticamente calcolata l' influenza sulla qualità acustica del locale, cosicché appare evidente su quali aspetti conviene intervenire per ottenere il miglior risultato con la minima spesa.

Senza entrare troppo nei dettagli dei programmi realizzati, verranno qui illustrate le principali funzioni

degli stessi, e saranno fornite le informazioni necessarie a far funzionare correttamente il sistema. I sottoparagrafi seguenti costituiscono dunque anche una specie di sintetico manuale d'uso della strumentazione.

5.3.1 Software di sistema

Lo scopo del software di sistema è quello di guidare l'utente nell'utilizzo dei vari programmi, rendendone automatico il caricamento in memoria e l'esecuzione, e suggerendo la configurazione hardware necessaria per lo espletamento del lavoro scelto.

Si supponga inizialmente di installare la strumentazione: il microcomputer andrà alimentato opportunamente, e verrà connesso all'analizzatore di Fourier tramite l'interfaccia IEEE 488 già descritta. A questo punto, accendendo il computer, appare la scritta "ready", che indica che il sistema è pronto. E' dunque possibile caricare il software.

Tutto il software prodotto è stato raccolto su un unico disco, indicato d'ora innanzi come "**disco programmi**"; ad esso si accompagnano altri tre dischi, uno destinato a raccogliere i dati durante l'acquisizione (**disco acquisizioni**), il secondo destinato alla elaborazione intermedia dei dati (**disco elaborazioni**), ed il terzo destinato all'immagazzinamento dei grafici tridimensionali prodotti (**disco pagine grafiche**).

All'inizio occorre introdurre nel computer il disco programmi, mentre in seguito il cambio dei dischi verrà automaticamente richiesto quando opportuno. Una volta

introdotta il disco programmi, è sufficiente premere il tasto "run" ("commodore" + "run/stop") per ottenere il caricamento e l'avvio automatico del software di sistema.

La prima operazione eseguita è il controllo delle opzioni installate nel sistema: viene poi presentato il menu principale, che consiste nella scelta fra 6 diversi programmi:

- 1) acquisizione dati
- 2) elaborazione dati
- 3) elaborazione grafici tridimensionali
- 4) preparazione nuovi dischi
- 5) modifica delle impostazioni standard
- 6) copia dei dischi per sicurezza.

I primi tre programmi verranno descritti separatamente nei prossimi sottoparagrafi, mentre i successivi tre fanno parte del software di sistema. Il programma iniziale provvede a caricare in memoria ed eseguire il software scelto, se ciò è compatibile con la configurazione hardware presente. In caso di mancata compatibilità, vengono indicate le modifiche da apportare per poter eseguire il programma scelto.

Nel caso del programma n° 3, è necessario che nel sistema sia installata una estensione del linguaggio Basic standard, denominata Simons' Basic: essa può essere costituita da una cartuccia inserita nella porta di

espansione del computer, oppure da una estensione software, che però per essere utilizzata richiede una ulteriore cartuccia di caricamento veloce, denominata Turbodos. Qualora nessuna delle due cartucce sia presente all'accensione, il sistema ne richiede l'inserimento per proseguire nella esecuzione del programma n° 3, mentre se è presente la seconda, viene dapprima caricata la versione software del Simons' Basic, ed in seguito il programma stesso.

Il programma n° 4 consente la preparazione di nuovi dischi acquisizione, elaborazione e pagine grafiche, per iniziare una nuova serie di misure. Esso chiede quale disco si vuole preparare, dopodiché invita allo inserimento di un dischetto vergine e scrive su di esso tutte le informazioni necessarie ai successivi programmi. Alla fine è possibile tornare al menu principale.

Il programma n° 5 serve a definire le caratteristiche standard del sistema, quali colore dello schermo e dei caratteri, massimo numero di punti di misura nella sala, stampante utilizzata, etc. : la scelta si attua in forma numerica, per cui è necessario conoscere quale colore corrisponde, ad esempio, al numero 4, o quale stampante corrisponde al n° 1. L'uso di questo programma è pertanto riservato all'utente esperto, che disponga delle informazioni necessarie.

Infine il programma n° 6 é un usuale programma di copiatura dischi, utile per duplicare i dischi contenenti le informazioni elaborate, onde non rischiare che un accidentale danneggiamento distrugga il frutto di un lungo lavoro.

5.3.2 Programma di acquisizione

Il programma di acquisizione viene caricato in memoria solo se è presente l' interfaccia IEEE 488, poiché il solo scopo di questo programma è la gestione dell' analizzatore di Fourier Ono Sokki durante la fase di acquisizione dati, nella sala in esame.

Il programma chiede anzitutto di inserire il disco acquisizioni dal quale viene letto un indice delle acquisizioni già eseguite (al massimo 9 per disco); è possibile proseguire una acquisizione già presente sul disco, oppure definirne una nuova. Nel secondo caso vengono richiesti dati quali nome e localizzazione della sala, data della misura, e viene chiesto di specificare il numero di punti di misura previsti; è sottintesa una suddivisione del locale in file di sedili, per cui vengono richiesti il numero di file ed il numero di punti di misura per fila. Non è ovviamente obbligatorio eseguire una misura in ogni sedile del teatro, ma si può decidere di intervallare opportunamente i punti e le file di misura. Viene infine richiesto se i tempi di riverberazione debbono essere calcolati in ottave o in terzi d' ottava.

Si procede poi al controllo della corretta connessione

della testa artificiale, che si ottiene verificando che la pressione del tasto di partenza acquisizione sulla testa stessa venga rilevata dal computer. Viene poi eseguita la procedura di acquisizione vera e propria, che consiste anzitutto nel ripristino alle condizioni di accensione dell' analizzatore di Fourier.

La procedura può iniziare l' acquisizione da qualunque punto, per cui viene richiesto il numero del punto di inizio; ciò consente di riprendere una serie di misure dopo una interruzione forzata, o di rifare la misura in un singolo punto. Viene infine chiesto quale generatore di rumore si vuole usare, intendendosi con generatore interno l' apposito circuito contenuto nel microcomputer, e con generatore esterno quello incorporato nell' analizzatore di Fourier. La sorgente sonora deve ovviamente essere connessa con il generatore scelto. La regolazione del livello sonoro emesso dalla sorgente viene richiesta prima dell' acquisizione del primo punto di misura: si tratta di ottenere un elevato rapporto segnale/disturbo, per cui usualmente conviene regolare la sorgente stessa sulla potenza massima. L' analizzatore di Fourier provvede ad autoregolare l' amplificazione dei microfoni. Terminata la regolazione, è sufficiente premere qualunque tasto: il computer spegne automaticamente la sorgente, e chiede di posizionare la testa nel punto prescelto.

Qui inizia una procedura ripetitiva, che viene avviata dalla pressione di un tasto qualsiasi o del pulsante situato sotto la testa artificiale. Il computer accende innanzitutto la sorgente, visualizza progressivamente quale acquisizione è in corso, provvede alla commutazione della unità a relais per la scelta dell' orecchio destro o sinistro, fa memorizzare allo analizzatore di Fourier le risposte all' impulso e gli spettri sonori misurati sulla apposita incorporata unità a microdisco, ed infine spegne la sorgente sonora, registrando contemporaneamente il decadimento susseguente nella memoria volatile dello analizzatore. A questo punto lo schermo lampeggia, viene emesso un segnale acustico, e si può procedere allo spostamento della testa nel punto di misura successivo.

Nel frattempo il computer elabora i dati contenuti nella memoria volatile, e calcola da essi i tempi di riverberazione alle varie frequenze, che vengono memorizzati sul disco acquisizioni, assieme ai dati di definizione della sala.

Quando il computer è nuovamente pronto per acquisire il punto successivo, lo schermo lampeggia nuovamente e viene emesso il segnale acustico, segnalando che è possibile far partire nuovamente la procedura di acquisizione premendo il pulsante sotto la testa o un tasto del computer. E' anche possibile interrompere la

acquisizione, premendo il tasto di funzione F2.

Se nel corso dell' acquisizione il microdisco dello analizzatore di Fourier si riempie, il computer interrompe la procedura ed invita all' introduzione di un nuovo microdisco; su ciascuno di essi possono essere memorizzate le risposte all' impulso e gli spettri sonori di 21 punti di misura, per cui usualmente due microdischi, o al massimo tre, sono sufficienti alla memorizzazione dei dati di una sala anche grande.

In alcuni casi, durante la elaborazione dei tempi di riverberazione, l' interfaccia IEEE 488 può finire in una condizione d' errore, che viene ripristinata con la pressione del pulsante "local" sull' analizzatore di Fourier: ciò viene richiesto, se necessario, tramite una scritta lampeggiante sullo schermo accompagnata da una serie di suoni.

Essendo estremamente limitati gli interventi umani durante la fase di acquisizione, è difficile che si verifichino errori: l' unico problema è il corretto posizionamento della testa nei punti prestabiliti, che può essere facilitato dalla disponibilità di una pianta sulla quale marcare con una crocetta i punti già acquisiti.

Il software di calcolo del tempo di riverberazione si basa sulle seguenti ipotesi: viene campionato il livello sonoro, a partire dall' istante di spegnimento della

sorgente, con un intervallo di campionamento di 40 ms, finché il livello non decade di oltre 3 dB sotto il valore di regime. A questo punto il campionamento viene infittito ad intervalli di 20 ms, e vengono memorizzati i valori del livello finché esso non si è ridotto di ulteriori 15 dB, ovvero finché non si raggiunge un limite fissato a 3 dB sopra il rumore di fondo ancora presente a fine decadimento. Il tempo di riverberazione viene ottenuto dalla pendenza media del tratto di decadimento memorizzato, attraverso la tecnica dei minimi quadrati. Se il decadimento è stato interrotto dal raggiungimento dei 15 dB, ciò viene segnalato dalla comparsa sullo schermo della scritta "T15", accanto al valore numerico misurato. La misura viene eseguita contemporaneamente su 5 bande di ottava o su 15 bande di 1/3 di ottava, oltre che sul livello complessivo. Solo il dato ottenuto da questo ultimo viene utilizzato in seguito per il calcolo dello indice di qualità acustica.

5.3.3 Programma di elaborazione dati

Scopo del programma di elaborazione é il calcolo dei quattro parametri fisici previsti dalla teoria di Ando, e precisamente Livello Sonoro, Tempo di Ritardo della Prima Riflessione, Tempo di Riverberazione e Correlazione Mutua Inter-Aurale. Da questi quattro parametri vengono poi calcolati gli indici di preferenza (s_1 , s_2 , s_3 e s_4), la cui somma fornisce l'indice complessivo di qualità acustica della sala: per fare questo é necessario fornire i dati di riscontro relativi al tipo di musica ed alla potenza sonora della sorgente effettiva.

Il programma consente altresí di gestire archivi dei dati misurati, consentendo di correggerli manualmente e di stamparli in forma tabellare.

All'inizio il programma carica dal disco programmi alcune routines in linguaggio macchina necessarie alle elaborazioni, dopodiché richiede l'inserimento del **disco elaborazioni**: su di esso si trova un indice degli archivi di dati elaborati, che può contenere al massimo 9 archivi. E' possibile elaborare i dati di un archivio già definito, oppure introdurne uno nuovo. In questo caso, viene offerta la possibilità di definire automaticamente un archivio grazie ai dati già registrati sul disco acquisizioni:

seguendo questa possibilità, è sufficiente introdurre il disco acquisizioni e scegliere la misura voluta fra quelle presenti. In caso contrario, è necessario introdurre da tastiera gli stessi dati visti prima, cioè nome della sala, etc. . In entrambi i casi occorre poi aggiungere le coordinate x,y e z di tutti i punti di misura, tramite un sottoprogramma di ingresso controllato comune ad altre gestioni di dati.

Il sottoprogramma di ingresso controllato consente di battere direttamente i valori opportuni, di correggerli spostandosi avanti e indietro con i tasti cursore, di avanzare di una fila premendo il tasto F1 e di retrocedere con F3; è infine possibile abbandonare il sottoprogramma, anche senza avere introdotto tutti i dati, mediante la pressione del tasto F7.

Appare poi il menu centrale del programma di elaborazione, che prevede queste possibilità:

- 0) ritorno al menu principale
- 1) modifica dei dati relativi alla sala
- 2) visualizzazione e modifica dei dati elaborati
- 3) elaborazione di nuovi dati
- 4) stampa dei dati elaborati
- 5) cambio del teatro oggetto di elaborazione

La opzione 0 non richiede commenti; le opzioni 1 e 2 utilizzano il sottoprogramma già illustrato per la

visualizzazione e la modifica dei dati memorizzati.

La opzione 3 conduce ad un successivo menu, così come la opzione 4; infine la quinta opzione consente di ripartire, con la scelta di un diverso archivio.

Il sottomenu cui si accede tramite l' opzione 3 è detto "menu elaborazioni", e presenta queste possibilità:

- 0) ritorna al menu precedente
- 1) elaborazione livelli sonori
- 2) elaborazione tempo di riverberazione
- 3) elaborazione prima riflessione
- 4) elaborazione C.C.I.A.
- 5) elaborazione della preferenza totale
- 6) conversione file.

La elaborazione gestita dal punto 1 procede automaticamente, visualizzando sullo schermo la mappa dei livelli sonori man mano che essi vengono letti dallo analizzatore di Fourier.

La elaborazione del tempo di riverberazione consiste in pratica nella semplice rilettura dal **disco acquisizioni** dei dati già ivi memorizzati; selezionando il punto 2 si viene pertanto invitati ad introdurre il **disco acquisizioni**, dopodiché a scegliere quale acquisizione leggere. Se essa è incongruente con le caratteristiche impostate per la sala in corso di elaborazione, si può optare di leggere ugualmente i dati. In effetti viene

letto solo il tempo di riverberazione complessivo, mentre i dati ottenuti dalle varie bande di frequenza non vengono presi in considerazione. Al termine viene richiesto di reintrodurre il **disco elaborazioni**, sul quale vengono memorizzati i dati.

Selezionando il punto 3 del menu elaborazioni, si attiva un sottoprogramma che consente di ricavare dalle risposte all' impulso $g(t)$ il tempo di ritardo della prima riflessione e l' ampiezza relativa A della riflessione equivalente. Riguardo questa seconda grandezza, va notato che essa viene calcolata da Ando con la seguente espressione:

$$A = \left[\frac{\int_{5 \text{ ms}}^T g^2(t) dt}{\int_0^{5 \text{ ms}} g^2(t) dt} \right]^{1/2} \quad (5.3)$$

nella quale il limite di integrazione T viene considerato tendente all' infinito, mentre il limite di 5 ms rappresenta la durata massima dell' onda diretta.

Non essendo possibile estendere il limite T al valore richiesto da Ando, poiché la durata utile della risposta all' impulso varia da 50 a 150 ms , si è scelto di limitare

comunque a 50 ms il limite superiore di integrazione: in questo modo il parametro A assume un significato più preciso, poiché rappresenta l'ampiezza equivalente delle sole **riflessioni utili**, e non comprende dunque l'energia del campo riverberante successivo. Il valore ottenuto da questa integrazione sulle risposte all'impulso effettive tende a dare risultati maggiori del valore teorico calcolato da Ando con la tecnica delle sorgenti virtuali, poiché nella misura è sempre presente un po' di rumore. Il risultato viene depurato dall'effetto del rumore semplicemente sottraendo al numeratore l'integrale tra -50 ms e -5 ms del quadrato della risposta all'impulso: in teoria questo termine dovrebbe essere nullo, poiché non arriva alcuna energia prima dell'onda diretta; pertanto in realtà in questo intervallo temporale si registra solo rumore, che viene supposto uguale a quello sovrapposto alla parte utile del segnale.

Il programma procede nell'elaborazione di un punto per volta, registrando di volta in volta i risultati sul **disco elaborazioni** sotto forma di settori di un "file relativo", in modo che sia possibile elaborare a piacimento i punti in qualsiasi ordine, interrompendo la elaborazione o rifacendo alcuni punti.

Le risposte all'impulso del punto considerato vengono caricate nella memoria del computer, dove una routine in

linguaggio macchina provvede a quadrarle, a calcolare gli integrali suddetti e a rinviarle all' analizzatore per essere visualizzate sovrapposte. La visualizzazione sovrapposta delle risposte all' impulso quadrate é molto utile per l' individuazione manuale della prima forte riflessione; per di piú il computer provvede automaticamente al calcolo geometrico del tempo di ritardo, poiché conosce le dimensioni della sala e le coordinate del punto di misura. Esso posiziona pertanto il cursore di ricerca (un punto luminoso) nella posizione stimata della prima riflessione, e l' operatore deve semplicemente spostarlo leggermente se esso non si trova già esattamente sul picco; é sufficiente poi premere il tasto "return" del computer per far sí che esso legga lo effettivo tempo di ritardo e lo visualizzi sul monitor assieme a quello teorico, all' errore di posizione commesso in cm e alla ampiezza equivalente A, ottenuta dal valor medio delle due A calcolate dalle due orecchie.

Viene infine proposta l' elaborazione del punto immediatamente successivo, ma l' operatore può sceglierne un altro oppure interrompere l' elaborazione.

L' opzione 4 serve al calcolo della Correlazione Mutua Inter-Aurale (IACC nella notazione di Ando), che può avvenire in modo continuo o un punto alla volta in analogia a quanto visto per il tempo di ritardo della

prima riflessione. Scegliendo la seconda possibilità, i dati vengono memorizzati nello stesso file relativo di prima, cancellando quanto vi si trovava: è pertanto buona norma effettuare subito la conversione file relativo (opzione 6), non appena terminata l'elaborazione del punto 3 o 4.

La correlazione mutua inter-aurale viene calcolata in questo modo: le risposte all'impulso vengono caricate nella memoria del computer, ove vengono traslate a sinistra in modo da iniziare con l'arrivo dell'onda diretta e vengono troncate a 50 ms dopo l'onda diretta stessa. I segnali così ottenuti sono rinviati allo analizzatore sotto forma di segnali nel tempo sui due canali "A" e "B": in questo modo l'analizzatore è in grado di valutarne la funzione di Cross-Correlazione (correlazione mutua), della quale viene letto il valore massimo nell'intervallo (-1..+1) ms. Viene anche letto il tempo di sfasamento al quale si verifica il massimo, che risulta pari a 0 ms se la testa era effettivamente rivolta verso la sorgente sonora. La presenza di tempi di sfasamento diversi da zero indica che la testa era orientata male, ovvero che la correlazione mutua inter-aurale è così bassa da rendere impossibile la localizzazione della sorgente: la osservazione del valore della IACC consente di comprendere quale dei due casi si

sia verificato (di solito il primo).

L'opzione 5 serve per il calcolo degli indici di preferenza parziali e totale: si può effettuare questo solo se sono già stati elaborati tutti i dati precedenti. Gli indici di preferenza dipendono non solo dai dati oggettivi, ma anche dai dati di riscontro relativi alla sorgente musicale: è pertanto necessario fornire la durata effettiva della funzione di autocorrelazione del brano musicale (t_{\bullet} , definita nel cap. 1) e il livello sonoro di riferimento, inteso come il livello sonoro ideale per lo ascolto del brano in esame (Ando assegna questo parametro come il livello presente sull'asse longitudinale della sala, a 20 m dalla sorgente).

Sul disco elaborazioni esiste un indice dei brani musicali, ciascuno dotato del corrispondente valore di t_{\bullet} e del livello di riferimento; è possibile scegliere una coppia di valori già definita, o introdurne una nuova per il calcolo degli indici di preferenza. Fatto questo, il calcolo procede automaticamente per tutti 4 gli indici parziali e per quello totale.

Infine l'opzione 6 consente di rileggere i dati memorizzati nel file relativo, e rimemorizzarli stabilmente sul disco elaborazioni: è possibile convertire un singolo punto o l'intero file, sia per i tempi di ritardo della prima riflessione che per le coerenze mutue

inter-aurali. E' importante ricordarsi di convertire immediatamente i punti al termine della elaborazione di queste grandezze, poiché il file relativo è una memoria di transito ove è facile che i dati vengano cancellati.

Rimane infine da considerare la opzione 4 del menu iniziale, denominata "stampe dati": essa consente di stampare sul video o su una stampante una tabella riassuntiva dei dati elaborati di ciascun tipo, tabella organizzata in righe e colonne allo stesso modo dei punti di misura nella sala. A questo scopo è importante notare che è bene numerare i punti di misura in accordo con le convenzioni interne dei programmi: la prima fila deve essere la più vicina alla sorgente, ed all' interno di ogni fila il primo punto deve essere sulla sinistra per chi guarda verso la sorgente. E' possibile scegliere tra varie stampanti o plotter per ottenere la stampa; ovviamente occorre indicare correttamente la apparecchiatura effettivamente collegata al computer.

Nella fig. 5.10 è visibile una stampa di questo tipo, relativa alla mappatura dei livelli sonori nella Aula Magna di Ingegneria, ottenuta nella ipotesi che la sorgente avesse un livello di potenza sonora $L_w = 100$ dB.

L' unico inconveniente serio presente nel programma di elaborazione dipende dalla sua notevole occupazione di memoria, che costringe il computer a soste forzate

("garbage collection") nel corso dell' elaborazione, durante le quali si arrestano tutte le attività, la tastiera é disabilitata e non resta che attendere alcuni secondi per vedere riprendere l' elaborazione.

STAMPA LIVELLI SONORI - TEATRO ASTRA

LS100	1	2	3	4	5	6
1 SX	62.8	65.4	69.3	70.4	66.4	63.2
DX	62.8	66.0	69.6	68.0	65.5	62.9
2 SX	62.5	64.1	66.7	66.9	65.2	62.6
DX	61.5	64.6	67.1	67.1	65.0	62.6
3 SX	60.2	62.8	63.8	64.7	63.1	59.8
DX	60.0	62.6	64.5	64.5	63.1	61.5
4 SX	58.9	60.2	61.1	61.8	60.4	58.7
DX	58.5	60.3	61.1	61.7	60.8	59.8
5 SX	58.7	58.4	58.6	58.2	58.6	57.7
DX	58.9	58.7	59.4	58.4	58.8	58.2
6 SX	57.5	57.1	57.6	57.3	57.5	56.9
DX	57.1	57.5	58.1	58.2	57.7	57.9
7 SX	56.4	56.4	56.9	57.6	57.0	56.2
DX	56.3	56.6	57.8	57.9	57.6	57.4

Fig. 5.10: Esempio di stampa numerica dei dati elaborati.

5.3.4 Programma di grafica tridimensionale

Il programma di elaborazione é in grado di fornire la stampa tabellare dei dati ottenuti, in una forma molto comoda per leggere i valori di ciascun punto di misura. Si é tuttavia sentita l' esigenza di visualizzare i risultati in forma grafica, per evidenziare meglio il comportamento globale della intera sala e rendere immediatamente confrontabili sale diverse.

Le usuali tecniche di presentazione grafica di risultati mappati su una superficie piana consistono nel tracciamento di linee di equal valore del parametro graficato, oppure nell' individuazione di aree del piano con gradi di annerimento crescente. Queste tecniche sono però adatte soprattutto alla rappresentazione di funzioni continue, e per applicarle ai dati ottenuti dalle misure sarebbe necessario preventivamente costruire funzioni di interpolazione per connettere fra loro i valori nei punti di misura.

Volendo invece mantenere intatta l' informazione contenuta in ciascun punto di misura, si é scelta la strada dell' istogramma tridimensionale: l' altezza di ciascun prisma a base rettangolare corrisponde dunque al valore misurato, mentre le dimensioni della base sono

scelte in modo da suddividere il rettangolo complessivo, corrispondente all'intera sala, nel numero di file e di punti per fila effettivamente analizzati.

La tecnica scelta consente di ottenere una rappresentazione facilmente comprensibile dei dati, a scapito di una certa riduzione di flessibilità nella visualizzazione di ambienti non rettangolari; peraltro le sale studiate sinora non hanno creato alcun problema di questo tipo.

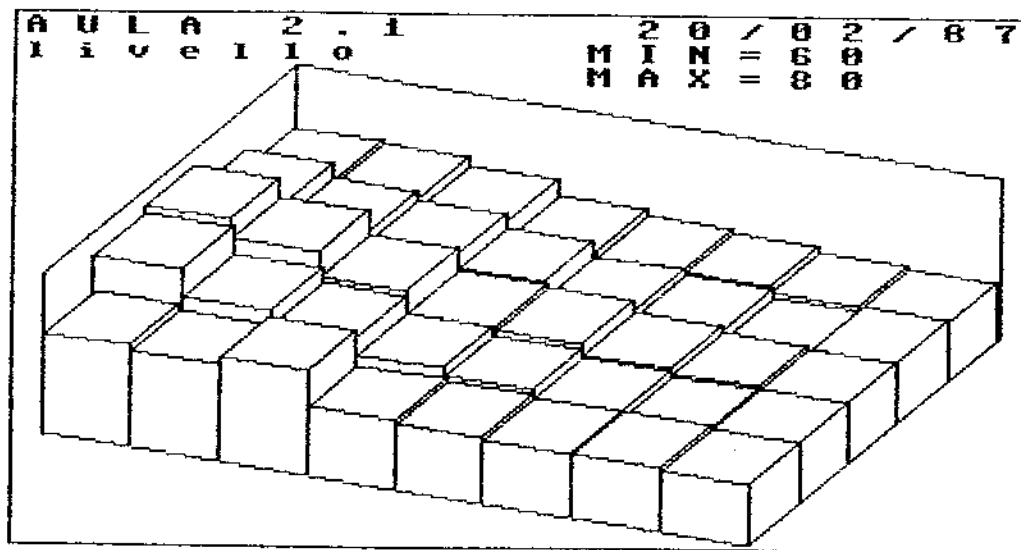


Fig. 5.11: Rappresentazione grafica dei dati elaborati.

In fig. 5.11 é visibile la rappresentazione grafica degli stessi dati riportati in forma numerica in fig. 5.10; la sorgente sonora é supposta sulla sinistra del disegno, mentre nella stampa di fig. 5.10 era situata in alto. Si nota come appaia evidente la progressiva attenuazione di livello sonoro con la crescente distanza dalla sorgente.

Il programma di elaborazione dei grafici utilizza buona parte della struttura del programma di elaborazione dati: é identica la parte generale di scelta dello archivio da elaborare, ed il menu centrale del programma prevede queste opzioni:

- 0) ritorno al menu principale
- 1) elaborazione di un nuovo grafico
- 2) visualizzazione e modifica dati elaborati
- 3) visualizzazione del grafico attualmente in memoria
- 4) salvataggio su disco del grafico in memoria
- 5) caricamento da disco di un grafico
- 6) stampa del grafico in memoria
- 7) cambio stampante
- 8) cambio teatro
- 9) modo bianconero / multicolore

La opzione 1 porta ad un successivo menu; la opzione 2 é identica a quella già vista nel programma precedente, e fa uso del solito sottoprogramma di ingresso controllato

per la eventuale modifica dei dati.

Con l'opzione 3 viene visualizzato sul monitor il grafico attualmente in memoria, finché non viene premuto il tasto "return". L'opzione 4 provoca il salvataggio su disco della pagina grafica, che viene in tal modo archiviata per uso futuro.

La opzione 5 conduce ad un sottomenu, che consente di scegliere quale grafico caricare in memoria dal disco; ovviamente possono essere caricati soltanto i grafici già precedentemente registrati sul disco, cosa che viene segnalata da un "si" presente di fianco a ciascun tipo di grafico già archiviato. Durante il caricamento viene automaticamente visualizzato il grafico stesso.

La opzione 6 consente di stampare il grafico sulla stampante attualmente selezionata; è possibile cambiare il tipo di stampante, se quella selezionata non corrisponde a quella attualmente collegata al computer. Il sistema supporta tre tipi di stampanti: Commodore, Epson e ThinkJet. La prima e l'ultima consentono un solo formato di stampa, mentre la seconda ne consente ben quattro: formato piccolo a singola densità, piccolo a doppia densità, grande a singola densità e grande a doppia densità. Le stampe a doppia densità sono più nere di quelle a singola densità, ma occorre un tempo di stampa doppio. Se si seleziona il formato piccolo, è possibile

posizionare il grafico sul foglio di carta stabilendo quanto margine bianco deve essere lasciato sulla sinistra.

La opzione 7 consente poi di cambiare la stampante attualmente selezionata, scegliendo fra le 6 possibilità su riportate.

Con l' opzione 8 si riparte dalla scelta dello archivio da elaborare, mentre l' opzione 9 consente di selezionare alternativamente il modo bianconero o quello multicolore; il primo è utile a preparare i grafici per la stampa, poiché fornisce una migliore risoluzione grafica, mentre il secondo è utile per osservare i grafici sullo schermo, che appaiono colorati in arancione e verde chiaro. Caricando un grafico dal disco occorre, per visualizzarlo correttamente, impostare l' opzione 9 nel modo corrispondente a quello della originale elaborazione di quel grafico.

Tornando alla opzione 1, essa conduce ad un sottomenu ove è possibile operare la scelta del grafico da elaborare fra le seguenti possibilità:

- 0) ritorna al menu precedente
- 1) grafico del livello sonoro
- 2) grafico della differenza di livello tra le 2 orecchie
- 3) grafico del tempo di riverberazione
- 4) grafico del tempo di ritardo della prima riflessione
- 5) grafico della ampiezza equivalente A della riflessione

6) grafico della Correlazione Mutua Inter-Aurale (IACC)

7) indici di preferenza.

Come si vede sono disponibili piú opzioni di quelle strettamente corrispondenti al numero di parametri elaborati, poiché ad esempio é possibile visualizzare sia il livello medio sonoro (ottenuto dalla media aritmetica del livello sinistro e destro), ma é anche possibile selezionare la differenza di livello fra le due orecchie.

Accanto a ciascuna possibilitá appare un "si" o un "no", indicante se i dati corrispondenti sono disponibili sul disco elaborazioni; il programma non consente ovviamente di elaborare dati non ancora presenti sul disco.

Una volta operata la scelta, i dati numerici vengono caricati dal disco, e vengono determinati il valore minimo e massimo degli stessi: questi valori servono per la corretta messa in scala del grafico. E' possibile accettare i limiti proposti, oppure imporne altri; usualmente conviene fare così, in modo che tutte le sale vengano rappresentate su grafici con la stessa scala verticale.

Il grafico viene visualizzato man mano che procede la elaborazione; é così possibile osservare in questa fase anche l' altezza di quelle bande dell' istogramma che risultassero eventualmente completamente coperte dalle

antistanti bande piú alte. E' comunque sempre possibile evitare questo inconveniente selezionando opportunamente i limiti minimo e massimo della scala verticale.

Va infine notato che l'opzione 7 del menu conduce ad un ulteriore sottomenu, che consente la scelta fra la graficazione dei 4 indici parziali di preferenza e dello indice complessivo.

La elaborazione dei grafici é piuttosto lenta, poiché vengono utilizzate unicamente le istruzioni grafiche del Simons' Basic. La stesura in linguaggio macchina dello algoritmo di graficazione renderebbe ovviamente molto piú veloce l'esecuzione dello stesso.