

6° CAPITOLO

MISURE IN SALE ESISTENTI

6.1 Ambiente di prova

La procedura di valutazione della qualità acustica descritta nel capitolo precedente è stata utilizzata per lo studio di alcune sale esistenti, delle quali era necessario indicare eventuali difetti ed opportuni interventi correttivi.

Già nella fase di messa a punto della strumentazione e del software si è però sentita l' esigenza di eseguire misure di prova in un ambiente dalle caratteristiche note, e per questo scopo è stata scelta l' Aula Magna della Facoltà di Ingegneria di Bologna: si tratta di un ambiente che era già stato oggetto di numerose ricerche [67], volte alla determinazione dei parametri fisici significativi per la comprensione del parlato ed allo studio di possibili interventi per migliorarne la funzionalità quale sala per conferenze. Dalle ricerche citate era risultato che la sala soffre di eccessiva riverberazione, che rende difficile la comprensione della voce ad una certa distanza dall' oratore. Ciò corrisponde alle lamentele sollevate dagli studenti, abituali frequentatori dell' aula nel periodo delle lezioni.

Nel corso delle indagini precedentemente svolte era stato anche realizzato un modello in scala 1:25, già illustrato nel cap. 3, le cui prestazioni a riguardo della

simulazione dei tempi di riverberazione sono senza dubbio buone: in fig. 6.1 è riportato il confronto fra i tempi misurati nel modello in scala (ovviamente moltiplicati per il denominatore del rapporto di scala) e quelli effettivamente misurati nell' aula reale.

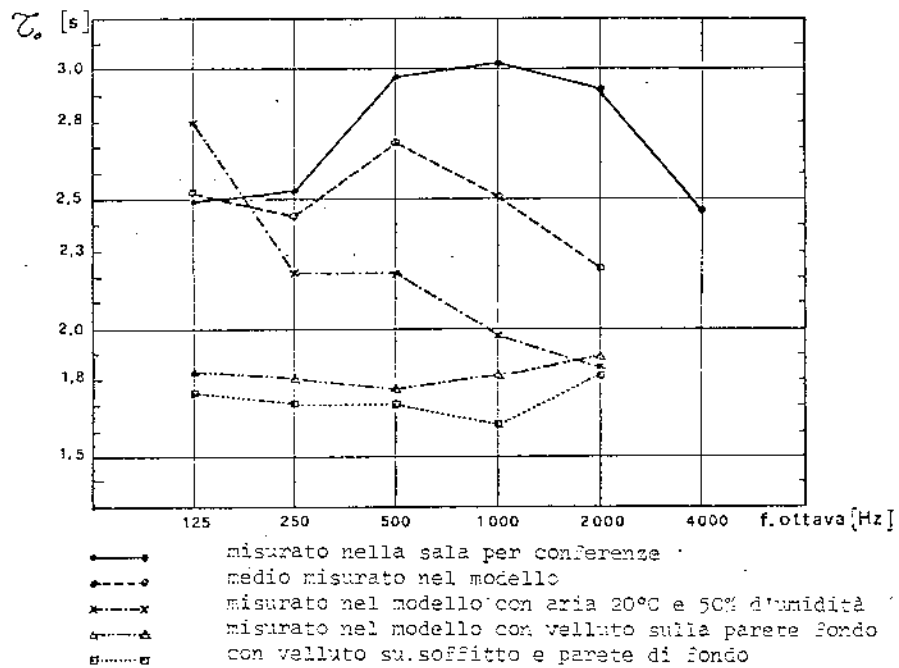
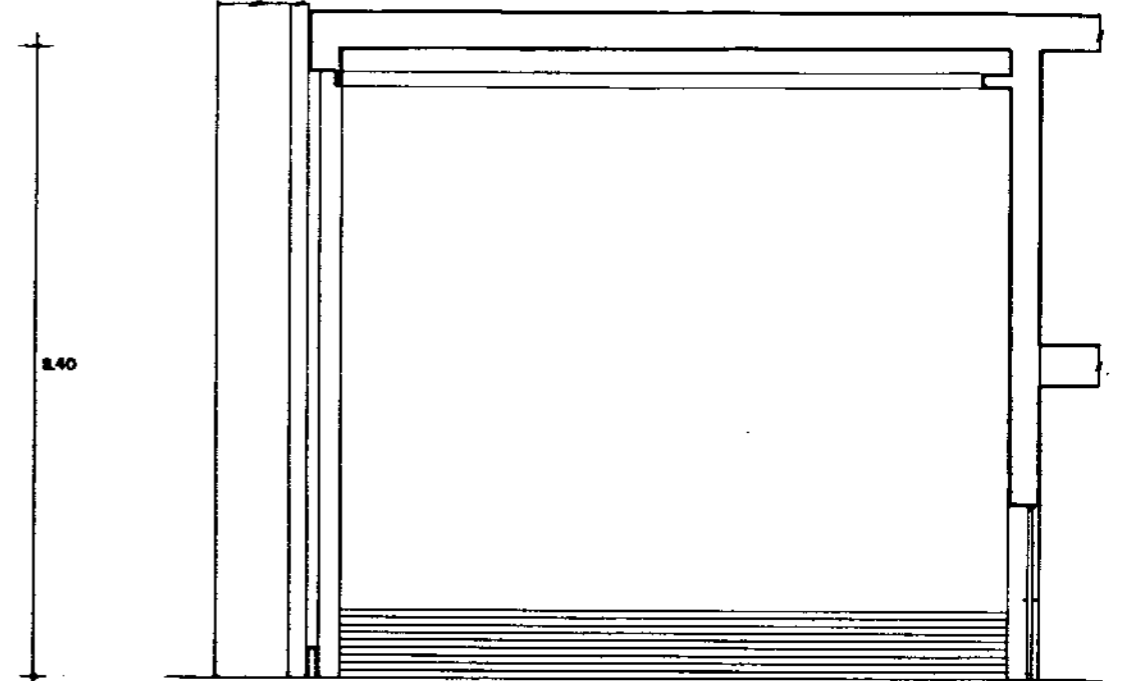
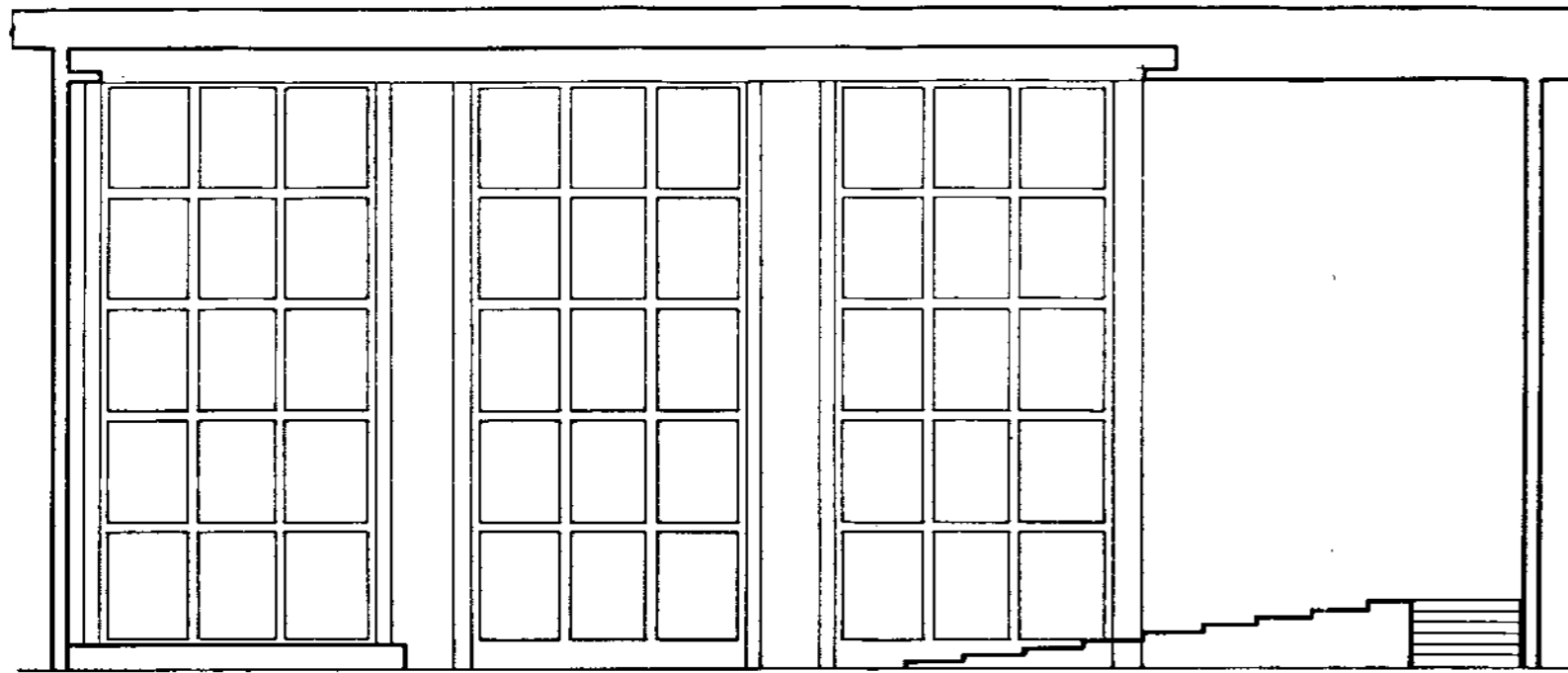


Fig. 6.1: Confronto fra i tempi di riverberazione misurati nel modello e nella Aula Magna.

La disponibilità del modello ha consentito di effettuare acquisizioni simulate nello stesso, tramite un piccolo altoparlante per alte frequenze (tweeter) ed una coppia di minuscoli microfoni a condensatore inseriti in una pallina di stucco: ovviamente ciò porta ad alcune differenze rispetto alle misure dal vero con testa artificiale, ma anche se i parametri fisici misurati in questo modo non sono risultati vicini a quelli effettivi (per colpa dei trasduttori, non del modello), queste prime acquisizioni in scala sono state molto utili per il controllo del funzionamento di tutte le componenti del sistema.

Nella fig. 6.2 è riportata la pianta dell' aula di prova, sulla quale sono indicati la posizione della sorgente sonora ed i punti di misura scelti per la mappatura dei parametri fisici: si è cercato di mantenere una distanza costante fra le file, ma non è stato possibile mantenere l' allineamento longitudinale dei punti di misura poiché i sedili sono sfalsati, onde garantire una migliore visibilità. La fig. 6.2 mostra anche una sezione longitudinale, dalla quale risulta evidente la notevole altezza dello ambiente e la insufficiente inclinazione della platea.



19.50

2.40

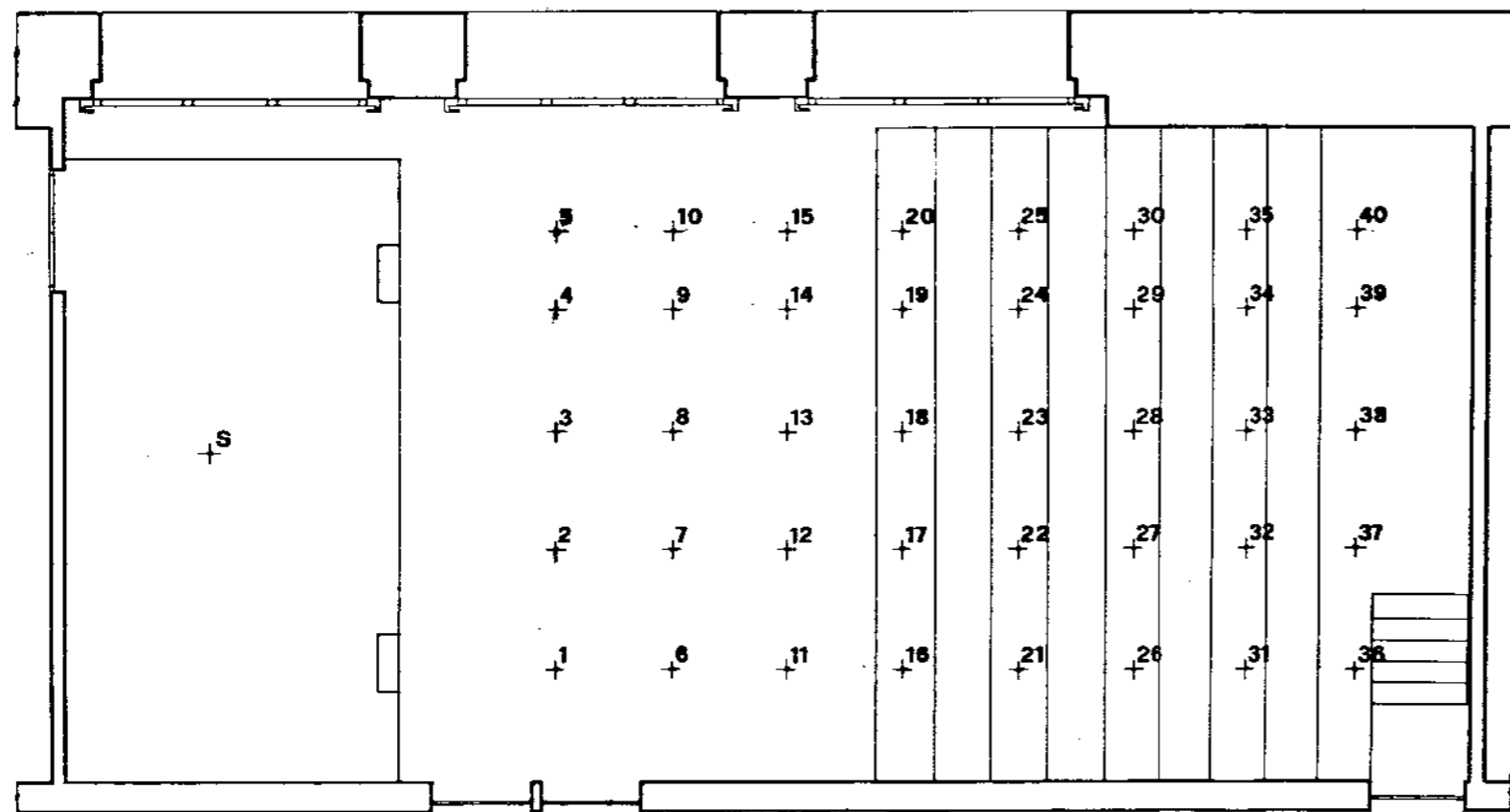


Fig. 6.2: Pianta e sezioni dell' Aula Magna (Aula 2.1).

Nelle fotografie delle fig. 6.3 e 6.4 sono visibili le grandi superfici vetrate che coprono una parete laterale della sala, ed i sedili imbottiti con piano di scrittura in legno incorporato nello schienale; la zona dedicata agli oratori è stata sopraelevata mediante un soppalco in legno, in modo da migliorare la visibilità. L'ambiente ha un volume complessivo di 1453 m³, ed ha una accoglienza di 170 posti.

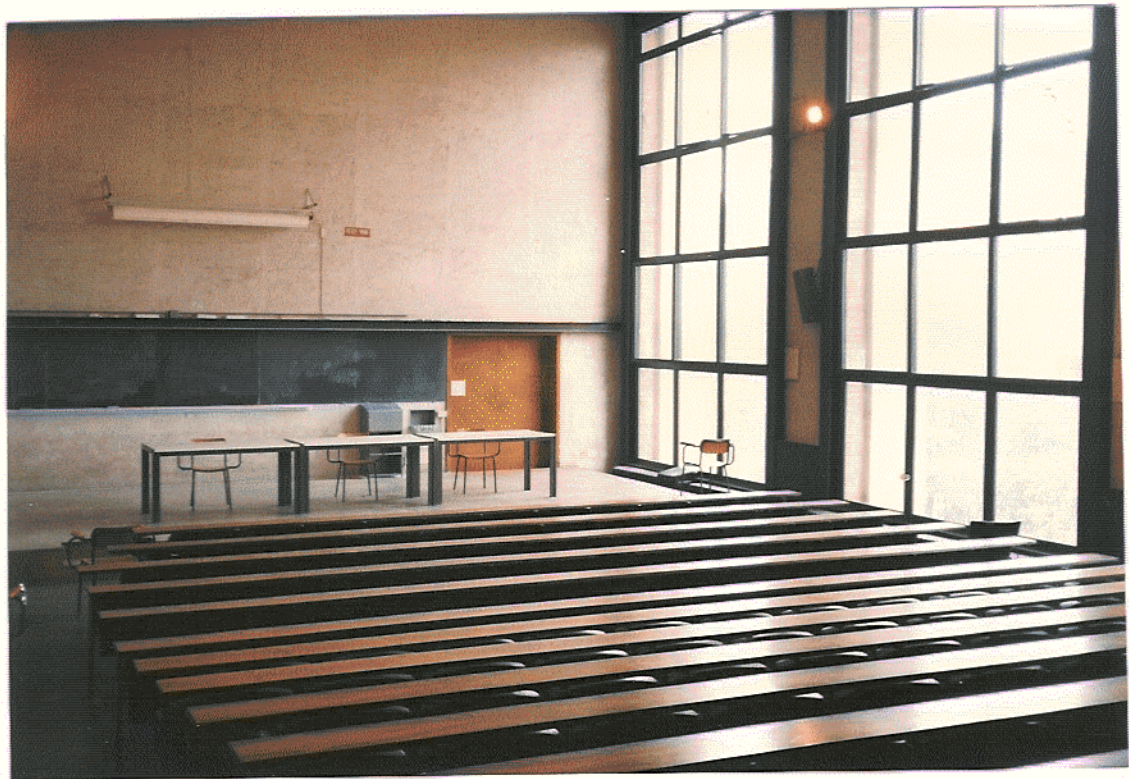
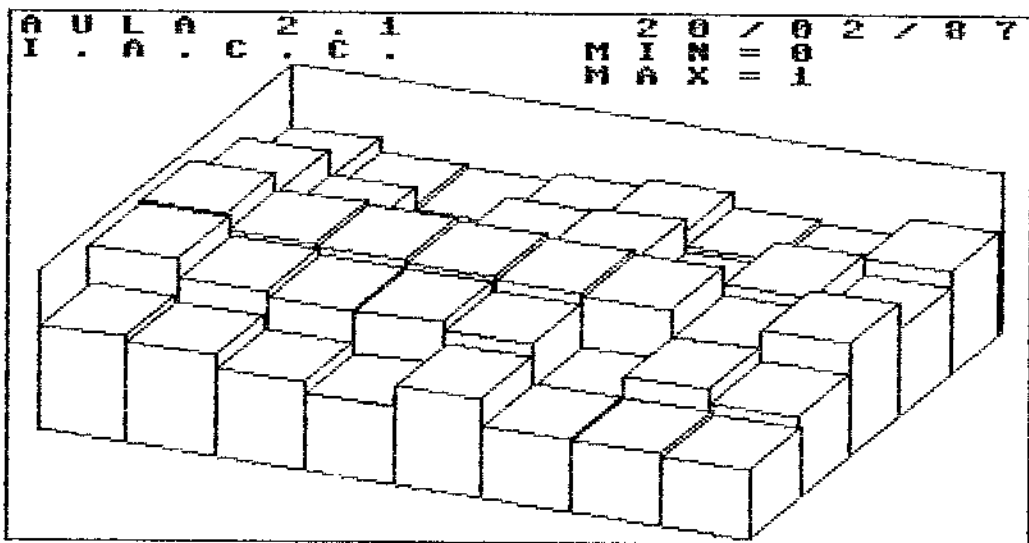
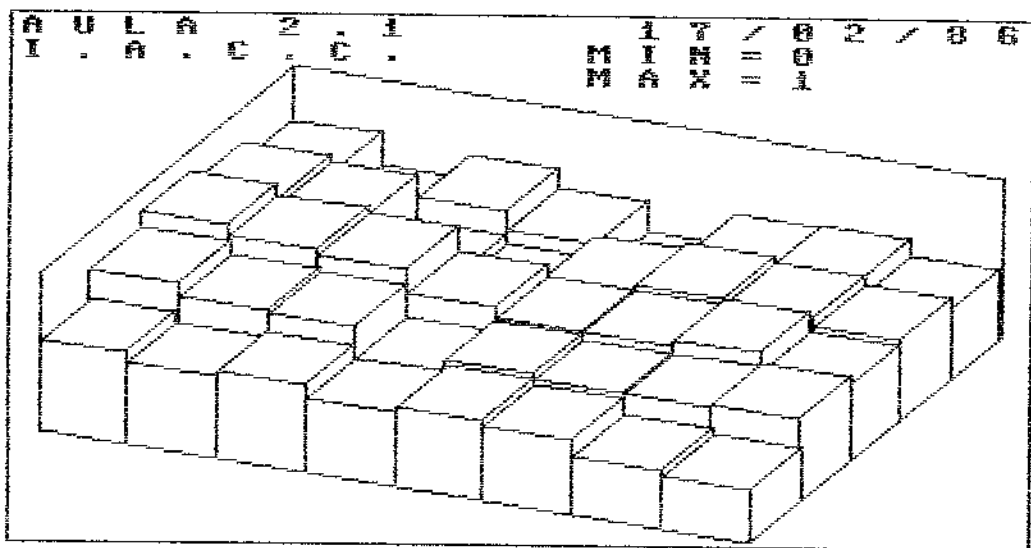


Fig. 6.3: Fotografia dell' Aula Magna.



Fig. 6.4: Fotografia dell' Aula Magna.

E' stata a piú riprese effettuata la acquisizione dei dati nell' aula di prova (indicata usualmente come Aula 2.1), raffinando di volta in volta la procedura, e constatando una sostanziale ripetibilitá dei dati ottenuti: a titolo di esempio, in fig. 6.5 é riportato il confronto fra le misure di Correlazione Mutua Inter-Aurale (IACC) effettuate a distanza di un anno. Benché si tratti di una delle prime e dell' ultima misura eseguita, si nota che le differenze sono accettabili, tenuto anche conto del fatto



g. 6.5: Confronto fra le misure effettuate a distanza di un anno.

che la prima misura è stata eseguita con la sala in parte piena di studenti, mentre la seconda invece con sala vuota e con basso valore del rumore di fondo.

Nelle successive figure 6.6, 6.7, 6.8, e 6.9 vengono presentati i valori assunti dai parametri oggettivi misurati nel corso della ultima acquisizione: dallo studio di questi grafici si comprendono alcuni tipici fenomeni, comuni in generale alle sale a pianta rettangolare.

La fig. 6.6 rappresenta la distribuzione di livello sonoro prodotto nell'aula da una (ipotetica) sorgente della potenza di 100 dB: in effetti i livelli misurati sono stati rapportati al livello di potenza effettivo della sorgente sonora utilizzata, che non è stato necessariamente mantenuto costante nel corso della acquisizione. Il livello è prossimo agli 80 dB(A) solo nella zona più vicina alla sorgente, decresce rapidamente e si stabilizza poi attorno ai 67 dB(A) nella parte centrale e posteriore dell'ambiente: è evidente che questo comportamento deriva dalle caratteristiche fortemente riverberanti dell'ambiente, per cui oltre una certa distanza il contributo del campo diretto al livello di ascolto diviene quasi ininfluenza. La zona ove il campo diretto è ancora significativo termina in pratica oltre la terza fila oggetto di misura (cioè la nona fila di sedili), e questa zona rappresenta la parte della platea

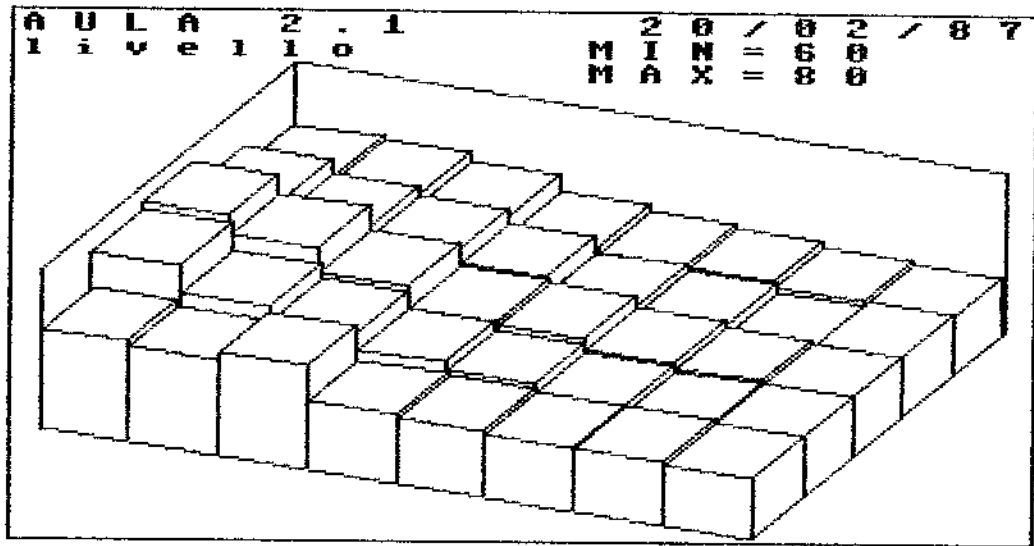


Fig. 6.6: Mappa del livello sonoro.

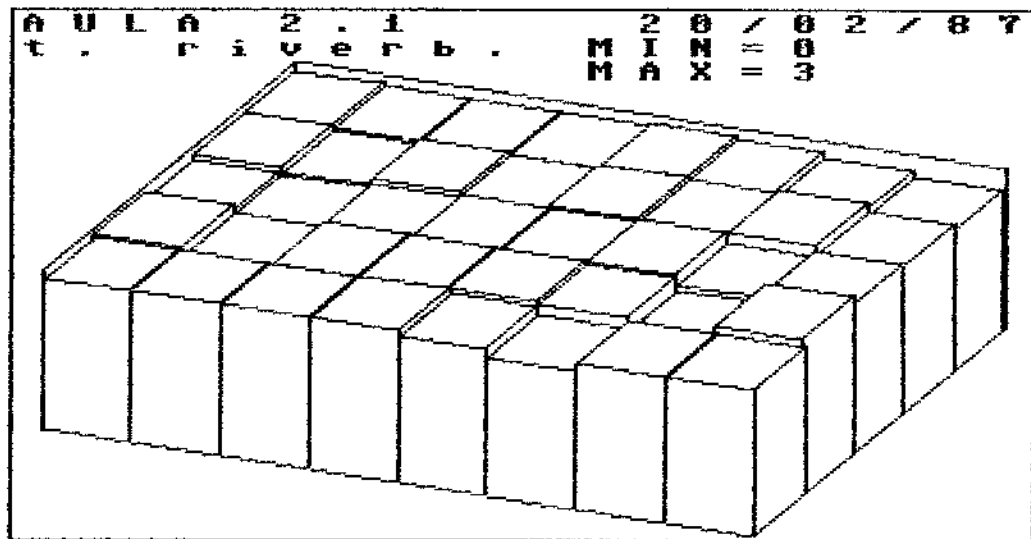


Fig. 6.7: Mappa del tempo di riverberazione.

ove é possibile comprendere abbastanza chiaramente le parole pronunciate da un oratore; nella parte retrostante il campo é perfettamente riverberante, e pertanto il parlato diviene praticamente incomprensibile.

In fig. 6.7 é riportata la mappa del tempo di riverberazione (sala vuota): si tratta del valore misurato attraverso i microfoni posti nelle orecchie della testa artificiale, ed é dovuto al decadimento complessivo di un rumore rosa fra 0 e 5000 Hz. Si nota come il valore é praticamente lo stesso in tutti i punti della sala, e vale circa 2.7 s. Anche i tempi di riverberazione misurati in bande di ottava sono pressoché gli stessi in tutti i punti, e valgono rispettivamente:

250 Hz	:	T =	2.30 s
500 Hz	:	T =	2.78 s
1000 Hz	:	T =	2.98 s
2000 Hz	:	T =	2.75 s
4000 Hz	:	T =	2.16 s

I valori sono piuttosto elevati, del tutto inadatti all'uso prevalente della sala (lezioni e conferenze); anche le occasionali rappresentazioni musicali che si svolgono nell'Aula Magna hanno usualmente il carattere della musica da camera, e richiedono tempi di riverberazione piú bassi.

Nonostante l'elevato valore del tempo di riverberazione, la sala non é però del tutto inadatta alle

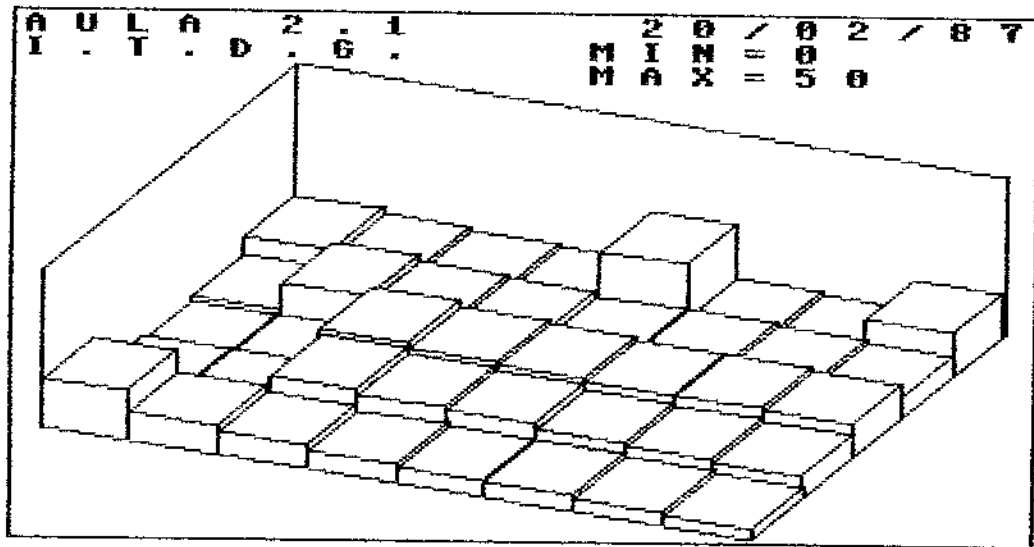


Fig. 6.8: Mappa del tempo di ritardo della prima riflessione.

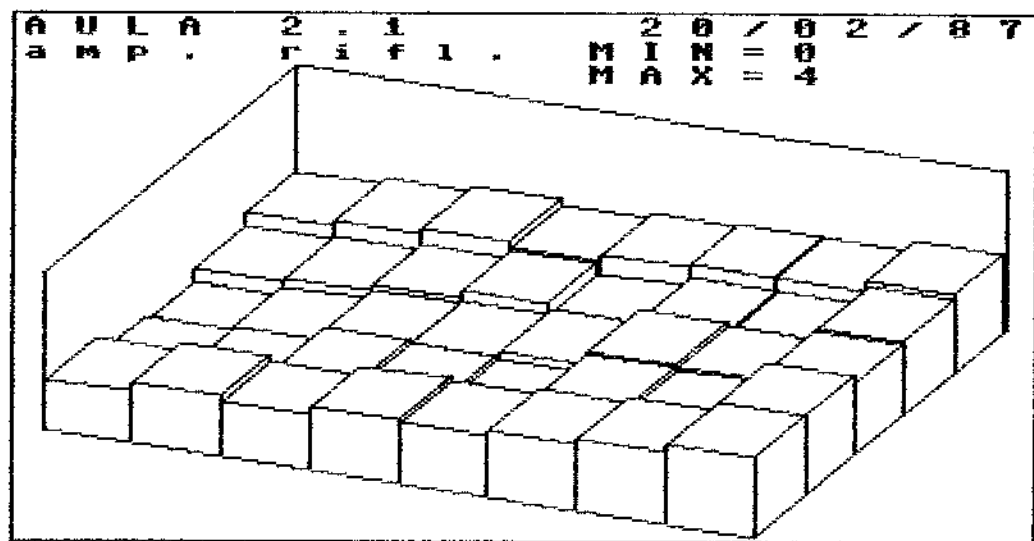


Fig. 6.9: Mappa della ampiezza equivalente delle riflessioni.

rappresentazioni musicali, poiché altri fattori positivi contribuiscono a compensare questo difetto.

Ad esempio, il tempo di ritardo della prima riflessione non è mai molto elevato, poiché la sala è stretta e con pareti laterali riflettenti: infatti in fig. 6.8 si può osservare che in quasi tutti i punti il valore di ITDG è minore di 10 ms. In due o tre punti di misura sono stati riscontrati tempi di ritardo superiori, ma questo è dovuto semplicemente alla presenza di ostacoli PRsul percorso della prima onda riflessa, per cui in effetti è stata ricevuta solo la seconda; questi casi si riscontrano solo ai lati della sala, ove usualmente il tempo di ritardo è minore per la maggiore vicinanza alla parete.

In fig. 6.9 è riportato l' andamento della ampiezza A della riflessione equivalente, che è ovviamente più elevata nella zona posteriore della sala (poiché qui è minore l' ampiezza dell' onda diretta); si nota anche che l' ampiezza è maggiore ai lati, poiché qui sono più intense le riflessioni laterali.

Infine nella parte inferiore della fig. 6.5 è rappresentata la mappa della Correlazione Mutua Inter-Aurale, che varia in modo molto meno regolare dei parametri finora considerati: nonostante ciò, è evidente che essa è minore ai lati della sala, poiché qui è

presente una forte riflessione laterale; inoltre diminuisce leggermente verso il fondo della sala, poiché risulta meno importante il contributo dell'onda diretta (sempre uguale sulle due orecchie).

Le valutazioni dell'indice di preferenza sono state eseguite in relazione a due diversi brani musicali, costituenti due situazioni estreme: il primo è infatti la Sinfonietta, opera n° 48 di Malcolm Arnold, della quale è stato considerato il IV movimento (Allegro con Brio); è un brano veloce con un valore molto basso della durata effettiva della funzione di autocorrelazione ($t_e=43$ ms). Il secondo è il Royal Pavane di Gibbons, un brano piuttosto lento con elevata ripetitività ($t_e=127$ ms). La scelta di due brani con caratteristiche così diverse consente di saggiare la rispondenza della sala ad esecuzioni musicali di genere diverso, sebbene essa sia stata utilizzata sinora unicamente per musica da camera. Gli stessi due brani vengono considerati come riferimento anche per la valutazione della qualità acustica delle altre sale analizzate, in modo da rendere più plausibili i confronti fra sale diverse.

Per valutare l'indice di preferenza del livello sonoro è necessario ipotizzare una certa potenza della sorgente. Poiché il livello ottimale è di 80 dB(A) [39], mentre il livello medio prodotto nella sala da una

sorgente con potenza di 100 dB è di soli 70 dB(A), sarà necessario utilizzare una sorgente più potente per garantire il giusto livello sonoro nel maggior numero di punti della sala. Ciò si ottiene assegnando un livello di potenza della sorgente pari a 110 dB.

In pratica, anziché ricalcolare i livelli prodotti dalla nuova sorgente, è più semplice riferire i valori precedentemente determinati ad un fittizio livello ottimale di 70 dB(A), ottenendo così lo stesso indice di preferenza, grazie alle proprietà logaritmiche della scala dei dB.

Nella realtà è possibile regolare il livello di potenza della sorgente tramite un impianto di amplificazione, utilizzato per le conferenze e le lezioni, ma non idoneo per rappresentazioni musicali. Pertanto non è detto che sia possibile garantire nel corso della esecuzione di musica solista il livello di ascolto desiderato, sebbene la forte riverberazione dell'ambiente eviti una rilevante caduta di livello nella parte posteriore della sala.

In fig. 6.10 è riportato il grafico dell'indice di preferenza del livello d'ascolto (che non dipende dal brano musicale): le condizioni ottimali sono ottenute in quasi tutta la sala, tranne la zona più prossima alla sorgente sonora, ove il livello diviene eccessivo e lo

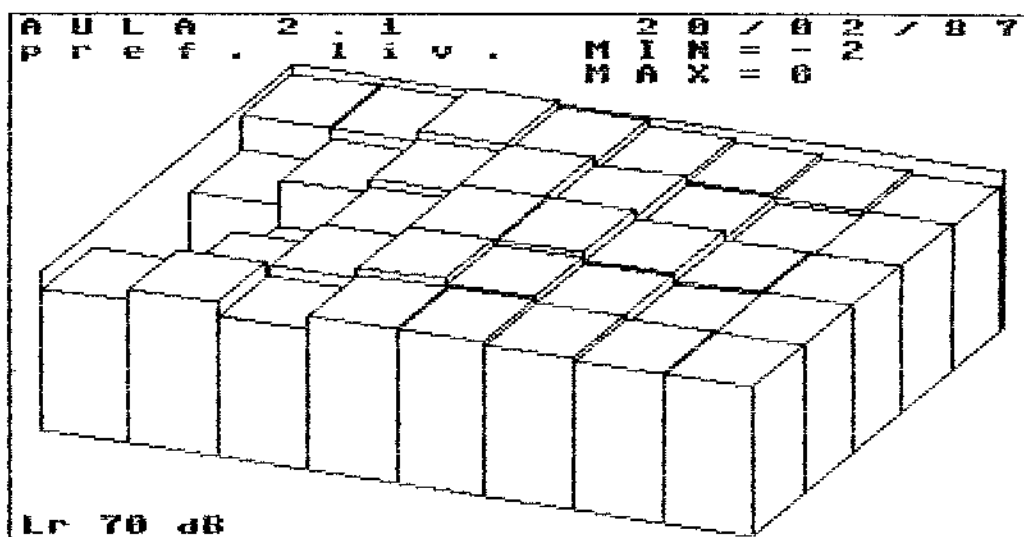


Fig. 6.10: Indice di preferenza del livello sonoro.

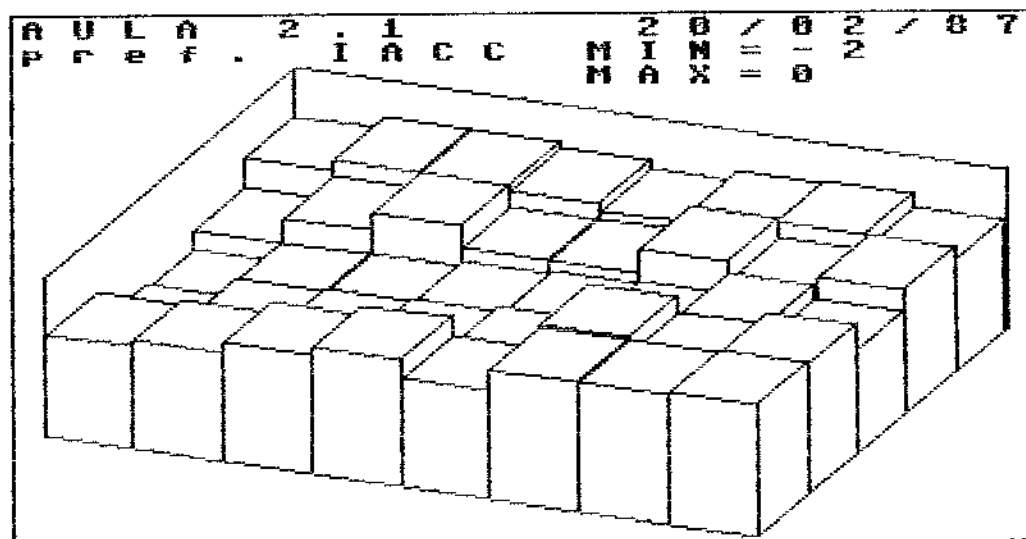


Fig. 6.11: Indice di preferenza della IACC.

indice di preferenza si riduce. Questo fenomeno si verifica peraltro anche nelle più rinomate sale da concerto, ed è uno dei motivi per cui gli spettatori non gradiscono essere in prima fila durante le esecuzioni musicali. Dal punto di vista della distribuzione del livello la sala non presenta dunque inconvenienti rilevanti per l'ascolto della musica.

L'altro parametro fisico non dipendente dal brano musicale è la Correlazione Mutua Inter-Aurale (IACC), il cui indice di preferenza è visibile in fig. 6.11.

Ovviamente l'indice di preferenza è più alto ove la IACC è più bassa, e cioè ai lati e nella parte posteriore della sala; la configurazione quasi simmetrica dello ambiente fa sì che nella zona centrale la IACC sia elevata, riducendo così la qualità acustica.

Nelle fig. 6.12 e 6.13 vengono riportati gli indici di preferenza del tempo di ritardo della prima riflessione (ITDG) e del tempo di riverberazione, riferiti al primo brano musicale, con $t_0=43$ ms. Il tempo di ritardo della prima riflessione risulta decisamente troppo corto nella zona più vicina alla sorgente (ove la riflessione proviene dal pavimento), mentre nella restante parte della sala esso è prossimo al valore ottimale, che viene raggiunto solo in quei punti ove la riflessione giunge dalla parete laterale più lontana, a causa di un ostacolo che impedisce

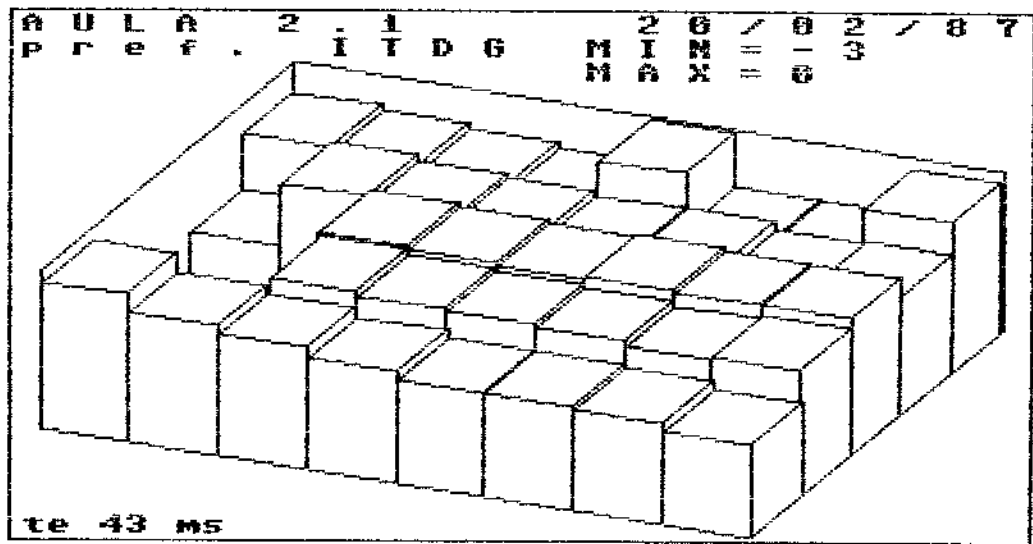


Fig. 6.12: Indice di preferenza del tempo di ritardo della prima riflessione - brano musicale 1.

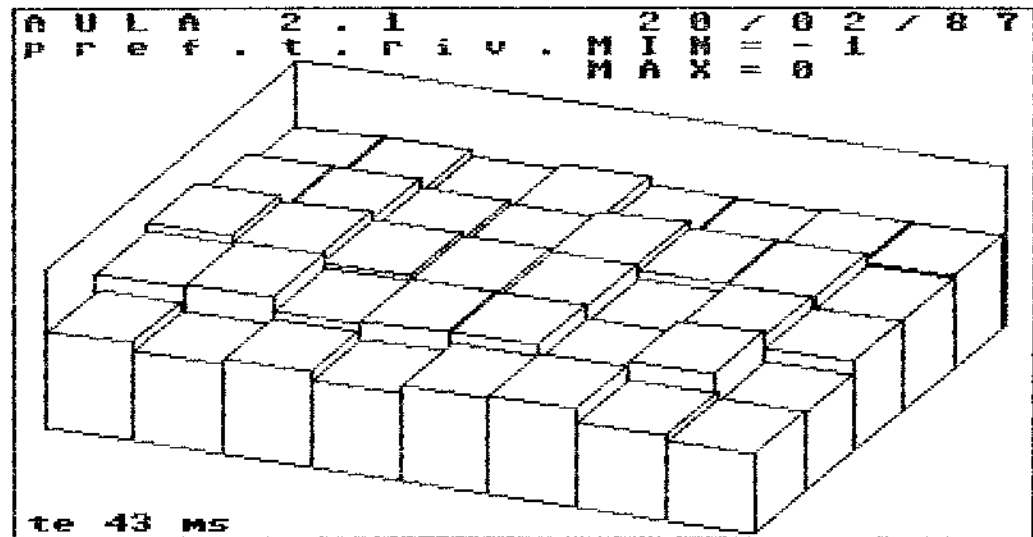


Fig. 6.13: Indice di preferenza del tempo di riverberazione - brano musicale 1.

l'arrivo della prima onda riflessa. Nella gran parte della sala si ha comunque un valore accettabile dello indice di preferenza.

Il tempo di riverberazione è invece troppo lungo per il brano musicale in questione, e pertanto si ha un valore ridotto dell'indice di preferenza; il valore è più elevato al centro della sala, poiché qui è più bassa la ampiezza A delle riflessioni. Nonostante il tempo di riverberazione di 2.7 s sia quasi il triplo del valore ottimale ($43 \times 23 = 990$ ms) l'indice di preferenza non scende mai sotto il valore -0.5; ciò dimostra che il tempo di riverberazione non è in sé molto importante sulla qualità complessiva della sala, anche quando è decisamente sbagliato come in questo caso.

Nelle fig. 6.14 e 6.15 sono riportati gli stessi due parametri (indice di preferenza di ITDG e t_r riv.) calcolati con riferimento al secondo brano musicale ($t_r = 127$ ms): si nota che il primo si è ridotto, poiché ora in tutti i punti il tempo di ritardo della prima riflessione è troppo piccolo rispetto al nuovo valore ottimale, mentre il secondo è aumentato, essendo stavolta il tempo di riverberazione praticamente coincidente con il valore ottimale. Il primo effetto è però predominante sul secondo, per cui l'indice di preferenza totale risulta leggermente più basso per il secondo brano musicale che

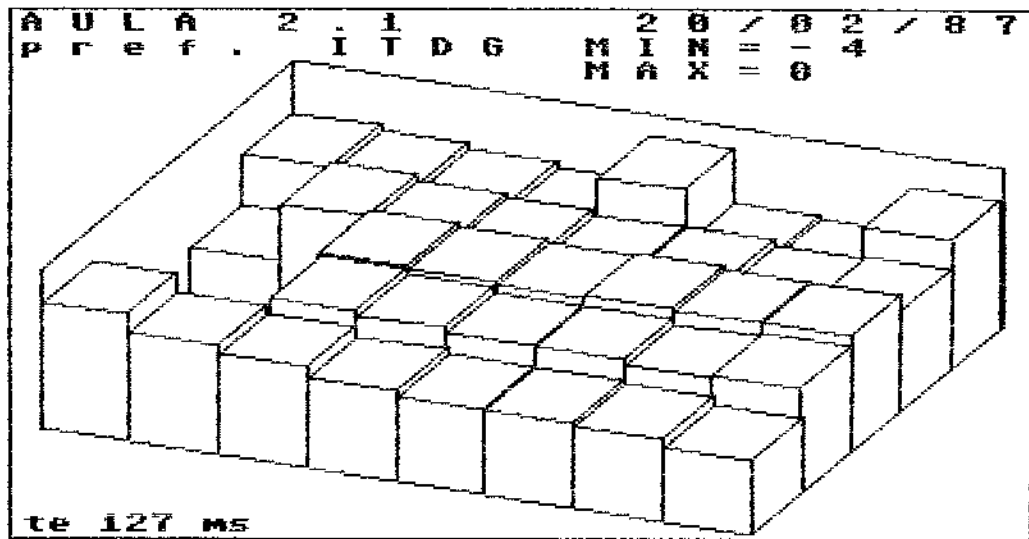


Fig. 6.14: Indice di preferenza del tempo di ritardo della prima riflessione - brano musicale 2.

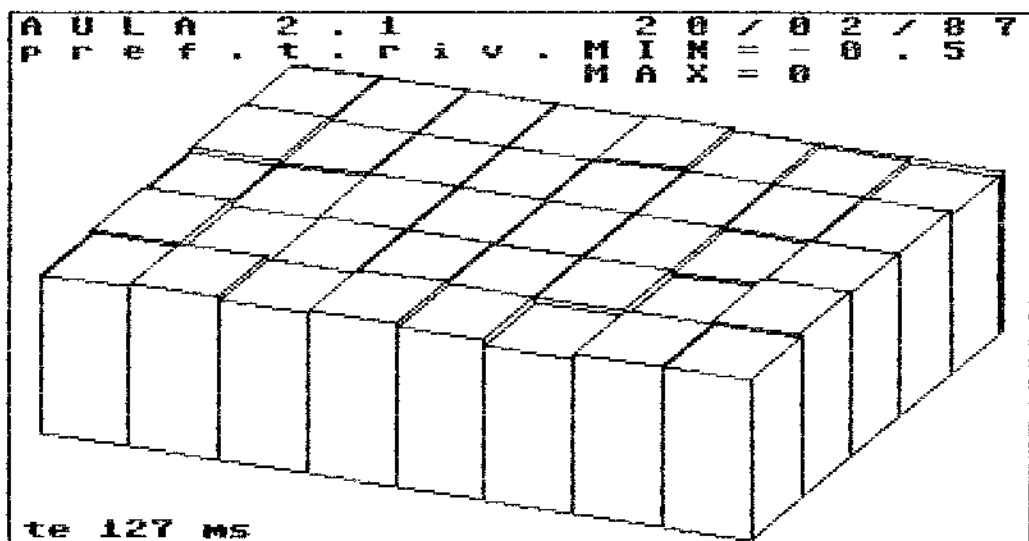


Fig. 6.15: Indice di preferenza del tempo di riverberazione - brano musicale 2.

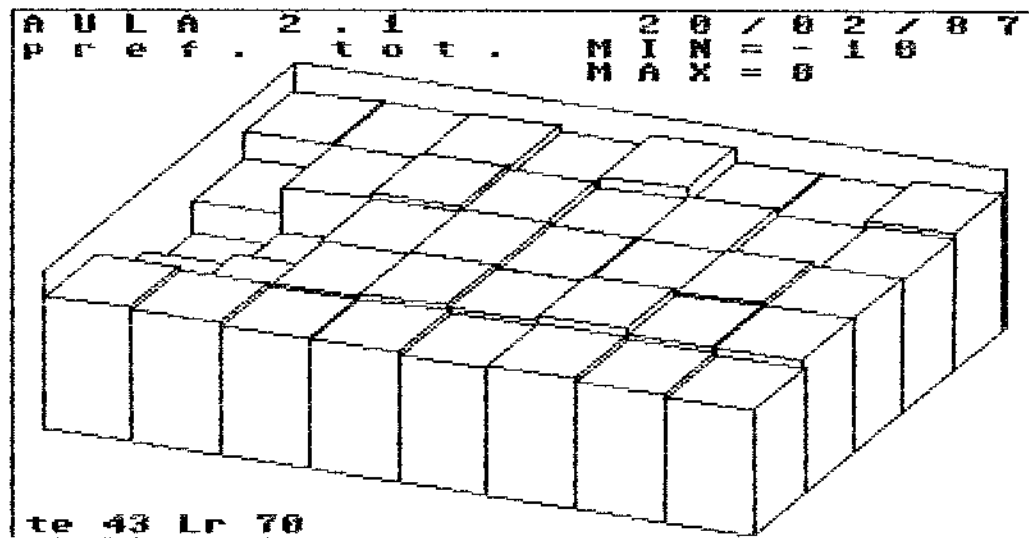


Fig. 6.16: Indice di preferenza totale - brano musicale 1.

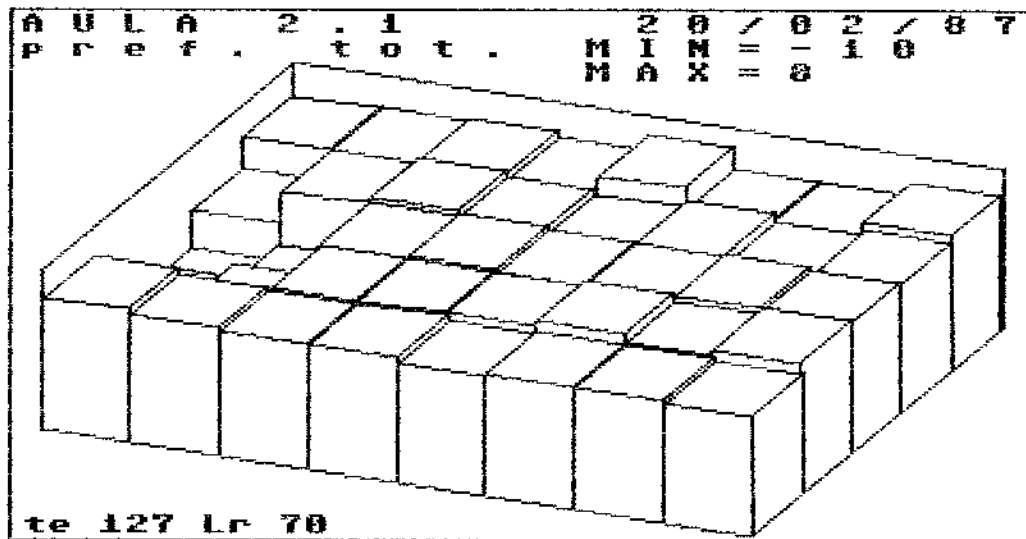


Fig. 6.17: Indice di preferenza totale - brano musicale 2.

per il primo, come si può vedere dalle fig. 6.16 e 6.17.

In entrambi i casi l'indice di preferenza totale è abbastanza livellato in gran parte della sala, e si riduce drasticamente solo in stretta prossimità della sorgente sonora; il valore medio oscilla tra -1 e -2, e non è così basso come la reputazione della sala avrebbe fatto presupporre (la reputazione deriva però in gran parte dall'uso come sala per conferenze, uso per la quale la Aula 2.1 è decisamente inadatta).

Si nota pertanto che i vari fenomeni relativi ai singoli parametri oggettivi tendono a compensarsi reciprocamente, tranne che nella zona anteriore-centrale; ciò dimostra che da una valutazione di qualità complessiva di un ambiente come questo è difficile estrarre le informazioni relative ai singoli fenomeni che hanno concorso ad ottenere la valutazione complessiva, mentre dalla procedura analitica adottata è emersa la importanza relativa dei singoli fenomeni e la loro variabilità nello ambiente.

Riguardo la possibilità di interventi per migliorare l'acustica della sala occorre ovviamente distinguere in base all'uso previsto; come è già stato sottolineato [67], per l'uso come sala da conferenze occorrerebbe un massiccio trattamento fonoassorbente, l'aumento della inclinazione della platea, ed un riflettore sopra la zona

destinata agli oratori per aumentare il livello sonoro nella parte posteriore della sala senza dover ricorrere ad impianti di amplificazione.

Per l'uso come sala da concerto, la presente ricerca indica che non c'è da attendersi un grosso miglioramento da un trattamento fonoassorbente, e che un aumento della inclinazione della platea o un riflettore centrale sopra gli esecutori porterebbero probabilmente ad un aumento della IACC con conseguente riduzione di preferenza. Sarebbe invece auspicabile l'installazione di riflettori laterali, e la movimentazione delle pareti in modo da aumentare la diffusione dell'energia sonora.

Trattandosi sostanzialmente di un ambiente scelto per la messa a punto del procedimento, piuttosto che come obiettivo delle ricerche svolte, non è stata sviluppata una ipotesi dettagliata di intervento sull'ambiente stesso, in considerazione anche del fatto che essa ben difficilmente sarebbe poi stata posta in essere.

6.2 Teatro del Convitto Nazionale Maria Luigia di Parma

Dopo l' aula di prova, la prima sala della quale è stata eseguita la valutazione della qualità acustica è stata quella del Convitto Nazionale Maria Luigia di Parma. Quest' ultimo è un complesso edificato agli inizi dello '800, tramite una profonda ristrutturazione dello esistente Palazzo dell' Arena. Maria Luisa d' Austria affidò la progettazione all' architetto di corte Nicola Bettoli, al quale si deve anche il teatro di cui lo edificio è dotato.

La costruzione del teatro ebbe inizio nel 1821 e si concluse nel 1829. Quattro anni dopo, Maria Luisa decretò la fusione del Collegio dei Nobili e del Collegio Lalatta nel Convitto Nazionale Maria Luigia, che fu installato nella sede ormai ultimata. Il Convitto è rimasto in attività da allora sino ad oggi, fornendo alla cittadinanza la possibilità di ottenere una educazione di qualità elevata dalle scuole elementari a quelle superiori (Liceo Classico e Scientifico). Nei programmi didattici del Convitto hanno sempre avuto parte rilevante le attività sportive e quelle culturali extra scolastiche, rese possibili grazie alle notevoli strutture di cui era

stato dotato dalla sua fondatrice (maneggio coperto, sala di schermo, palestra).

Nel quadro delle attività culturali, il teatro ha mantenuto un ruolo di primo piano, ed anche oggi viene intensamente utilizzato per prosa, musica e proiezioni cinematografiche. Il calendario è così fitto che è stato necessario attendere alcune settimane prima di avere a disposizione la sala per le prove acustiche.

La sala è molto interessante dal punto di vista architettonico soprattutto per le decorazioni pittoriche: il soffitto è decorato da Giovanni Gaibazzi, che ha raffigurato le arti maggiori fra putti e ghirlande floreali, le pareti laterali hanno visto anche il contributo di Macedonio Melloni e Paolo Zucchi, mentre il pregevole sipario è opera di Girolamo Magnani, autore anche delle ben più famose scenografie del teatro Regio di Parma [78].

Nelle fig. 6.18 e 6.19 sono visibili fotografie scattate nel corso delle prove acustiche: si notano i sedili interamente in legno, la balconata che corre attorno alla sala, sostenuta da fregi marmorei, le finestre coperte da pesanti tende di velluto ed il proscenio con il sipario abbassato. La capienza della sala è di 250 posti, adeguata alle esigenze degli allievi del Convitto.



Figg. 6.18 e 6.19: Fotografie del teatro del Convitto Nazionale Maria Luigia.

Essendo la sala piuttosto larga in relazione alle altre dimensioni, è stato adottato un elevato numero di punti di misura per fila (7), mentre è stato sufficiente considerare solo 6 file di punti di misura, circa equispaziate. Nella fig. 6.20 è visibile la pianta del locale, che è stato necessario disegnare, vista la totale mancanza di rilievi grafici preesistenti. Sulla pianta è riportato il posizionamento dei punti di misura, nonché la posizione della sorgente sonora.

Nella fig. 6.20 è rappresentata una sezione longitudinale dell' ambiente, dalla quale si nota la mancanza di pendenza della platea e la altezza non elevata del soffitto.

Le misure sono state eseguite quando ancora la procedura di misura del tempo di riverberazione non era divenuta operativa con sicurezza, per cui si è provveduto a misurare questo parametro tramite la usuale strumentazione in terzi d' ottava visibile in fig. 2.7. Vista la notevole lentezza di questo strumento, la misura del tempo di riverberazione è stata eseguita solo in un punto per ogni fila, ma ha dato sempre risultati pressoché coincidenti. Per ricavare dalle misure in terzi d' ottava il valore complessivo del tempo di riverberazione pesato A ($T_{0.05}$) si è ricorsi ad una ricostruzione numerica del decadimento sonoro, ammettendo che il segnale della

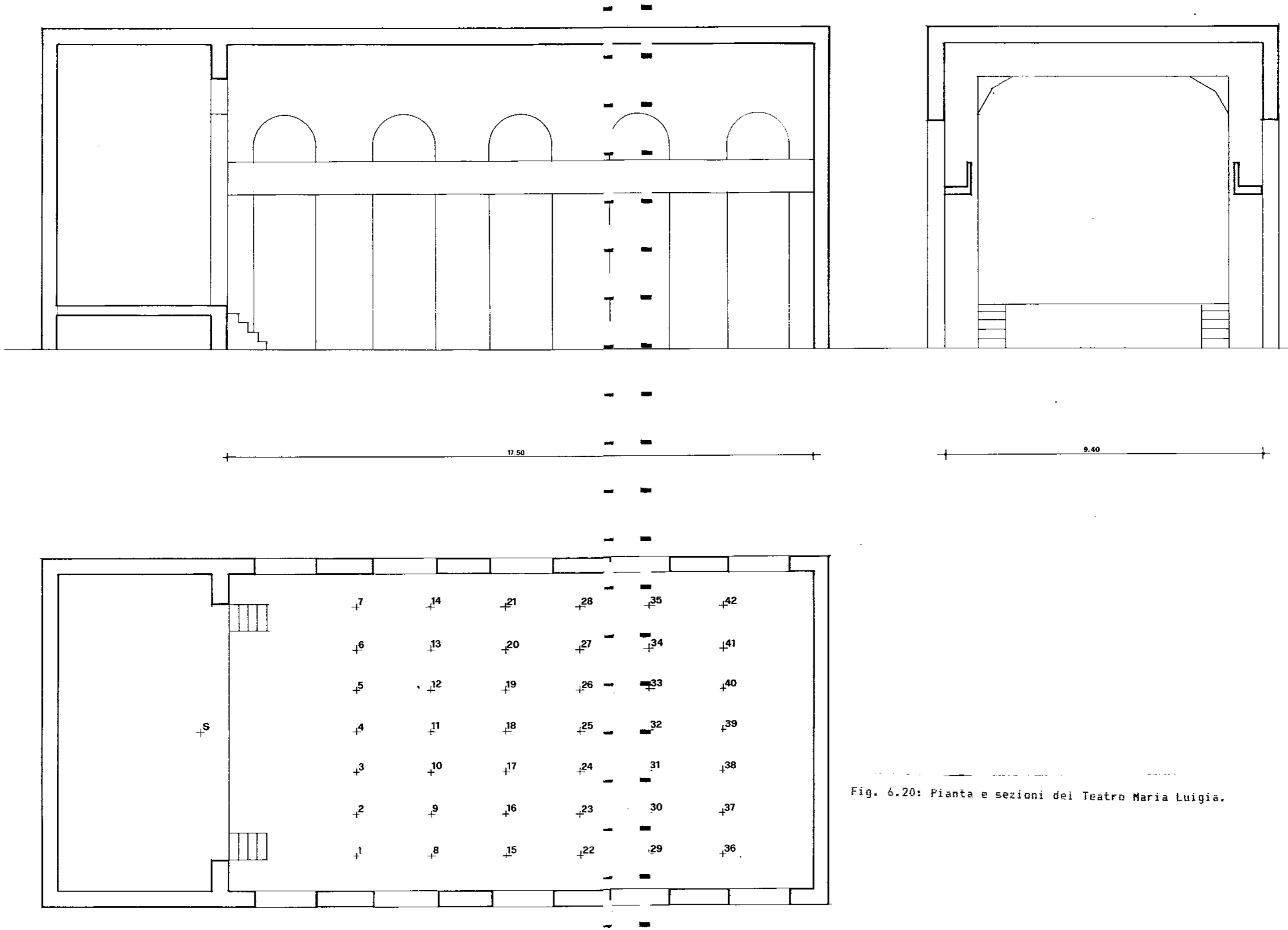


Fig. 6.20: Pianta e sezioni del Teatro Maria Luigia.

sorgente contenesse all'istante dello spegnimento uguale energia in ogni banda di frequenza, e calcolando per gli istanti successivi il livello complessivo pesato "A" dei singoli livelli nelle bande di terzo d'ottava, attenuati ciascuno in base al tempo di riverberazione corrispondente.

Nella fig. 6.21 è visibile la mappa del livello sonoro, che mostra una ottima uniformità longitudinale, nel senso che non si verifica il forte incremento di livello in prossimità del palcoscenico che caratterizza altre sale simili. Il livello nel punto centrale di ogni fila è sensibilmente più alto di quello dei punti adiacenti, ma ciò è facilmente spiegabile osservando che questo punto si trova nel corridoio centrale, e pertanto riceve una forte riflessione dal pavimento (parquet di legno) e non subisce l'attenuazione dell'onda diretta per incidenza radente sui sedili antistanti. A rigore il punto centrale di ogni fila non ha neppure rilevanza ai fini della qualità acustica della sala, poiché in esso non sono comunque mai presenti spettatori.

Nella fig. 6.22 si osserva invece il valore pressoché uniforme del tempo di riverberazione: come già spiegato, la uniformità in direzione trasversale dipende dal fatto di aver misurato un solo punto per fila; viceversa la uniformità in senso longitudinale è segno di una

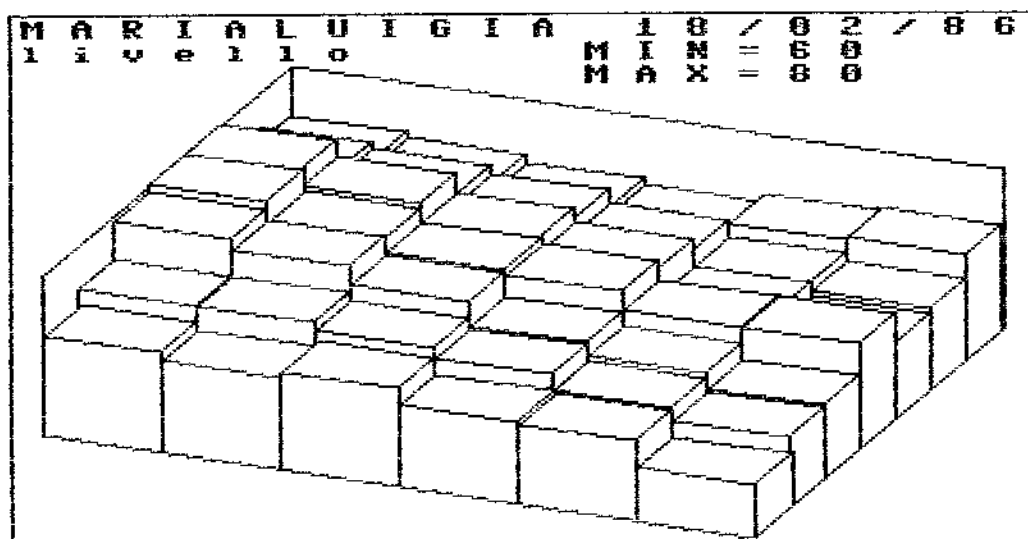


Fig. 6.21: Mappa del livello sonoro.

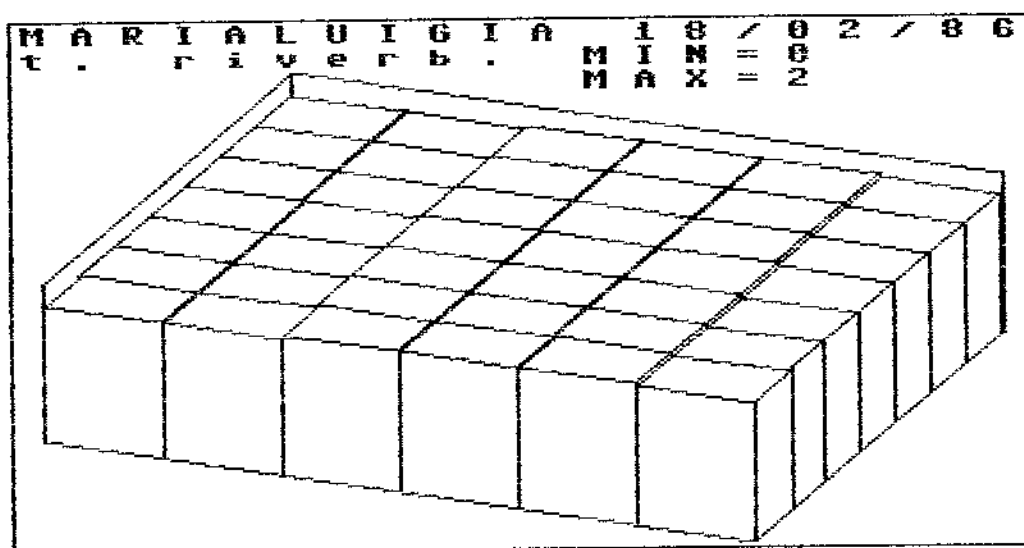


Fig. 6.22: Mappa del tempo di riverberazione.

sostanziale invarianza di questo parametro in tutti i punti dell' ambiente.

Il valore ottenuto è di 1.70 s, ed è forse leggermente elevato in relazione alle dimensioni ed all' utilizzo dell' ambiente. Va però tenuto conto del fatto che le misure sono state eseguite con sala vuota, e che la presenza del pubblico riduce notevolmente il valore del tempo di riverberazione, poiché i sedili in legno vuoti danno un assorbimento abbastanza contenuto in rapporto all' assorbimento sviluppato a sedili occupati. Pertanto si può ritenere che la sala presenti sostanzialmente un valore corretto per questo parametro.

In fig. 6.23 è visibile la mappatura del tempo di ritardo della prima riflessione (ITDG), che è molto ridotto nella parte anteriore della sala (tranne che in un punto, nel quale la riflessione laterale sinistra è schermata da una tenda). Nella parte posteriore dello ambiente il tempo di ritardo cresce leggermente, restando comunque sempre su valori molto ridotti (minori di 20 ms).

In fig. 6.24 si osserva il valore della ampiezza equivalente delle riflessioni A: essa è elevata ai lati della sala, mentre si riduce notevolmente nella zona centrale-anteriore. I valori elevati di questo parametro discendono dalla notevole movimentazione delle superfici laterali, che producono una forte diffusione del suono.

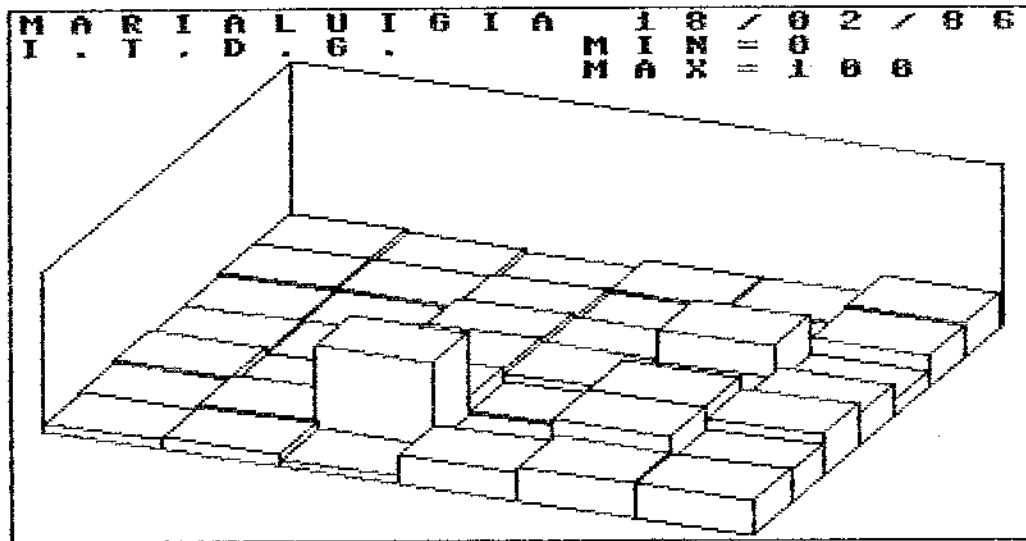


Fig. 6.23: Mappa del tempo di ritardo della prima riflessione.

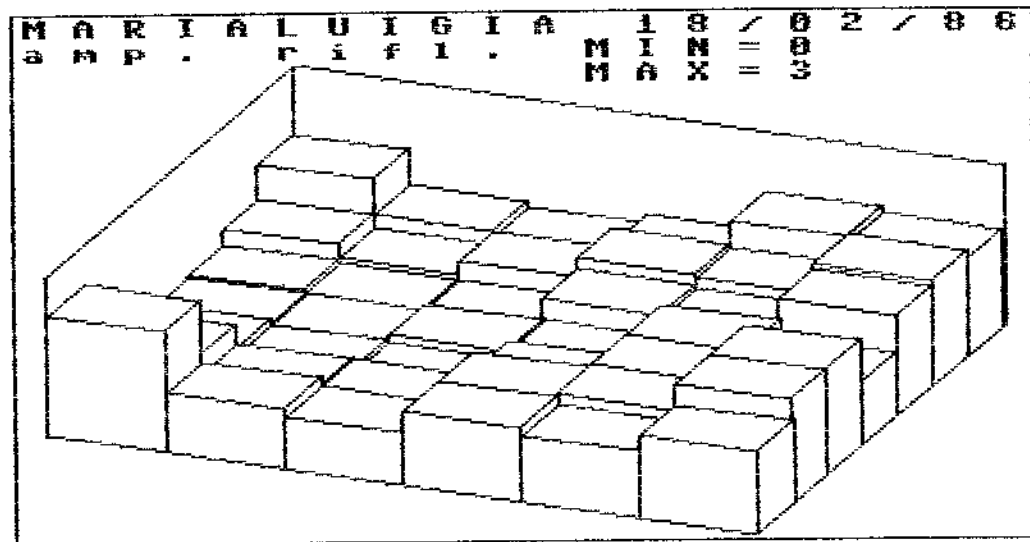


Fig. 6.24: Mappa della ampiezza equivalente delle riflessioni.

In fig. 6.25 si può infine vedere la distribuzione della Correlazione Mutua Inter-Aurale (IACC), che presenta ovviamente i massimi valori nei punti centrali delle file (che tutto sommato non contano), mentre si riduce ai lati, a causa della diffusione del suono prodotta dalle pareti laterali.

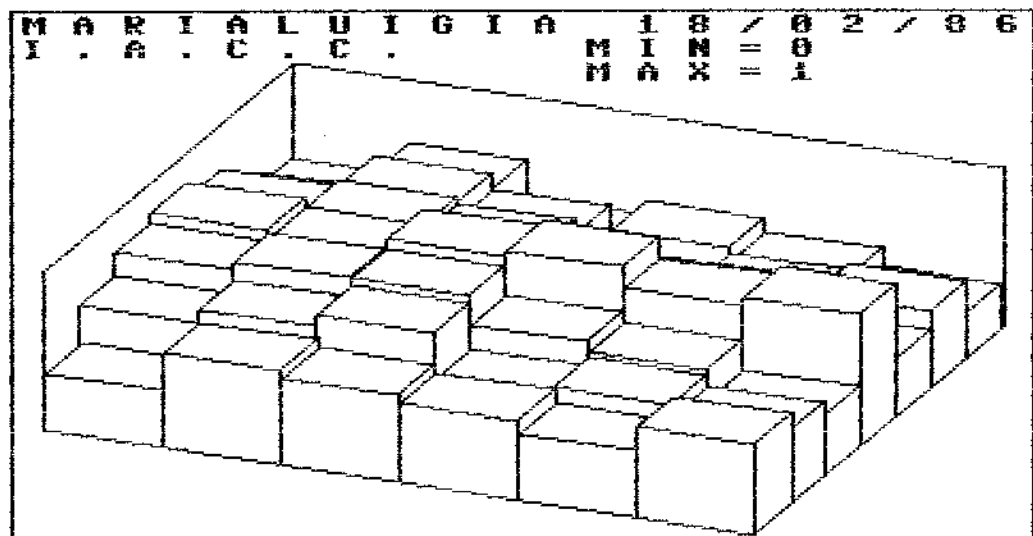


Fig. 6.25: Mappa della IACC.

Per la valutazione degli indici di qualità acustica sono stati seguiti gli stessi criteri già illustrati per l'aula di prova: si è fatto riferimento a due brani musicali con durata convenzionale della autocorrelazione pari rispettivamente a 43 e 127 ms, mentre si è supposto che la sorgente sonora avesse una potenza tale da garantire buone condizioni d'ascolto nella maggior parte della sala.

In base a quest'ultima considerazione, è stato fissato un livello di potenza della sorgente di 107 dB, cui corrisponde un livello di riferimento di 73 dB(A). Si nota in pratica che questa potenza è inferiore a quella richiesta nell'aula di prova, che pure aveva una capienza quasi dimezzata: ciò è segno che il teatro in esame è dotato di una buona sonorità, e non richiede dunque particolari accorgimenti per garantire un adeguato livello d'ascolto (difatti non è presente alcun impianto di amplificazione).

In fig. 6.26 è riportato l'andamento dell'indice di preferenza del livello sonoro: esso si riduce fortemente solo in pochissimi posti situati in vicinanza della sorgente, e manifesta una lieve tendenza alla diminuzione nella zona posteriore sinistra, dovuta all'attenuazione prodotta in questa zona dalle tende di velluto situate appunto sulla parete sinistra.

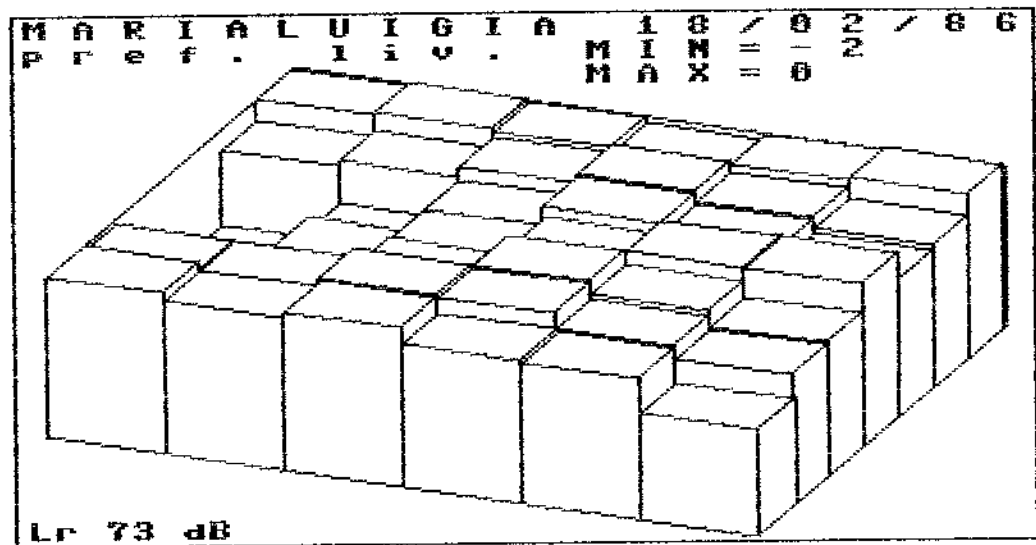
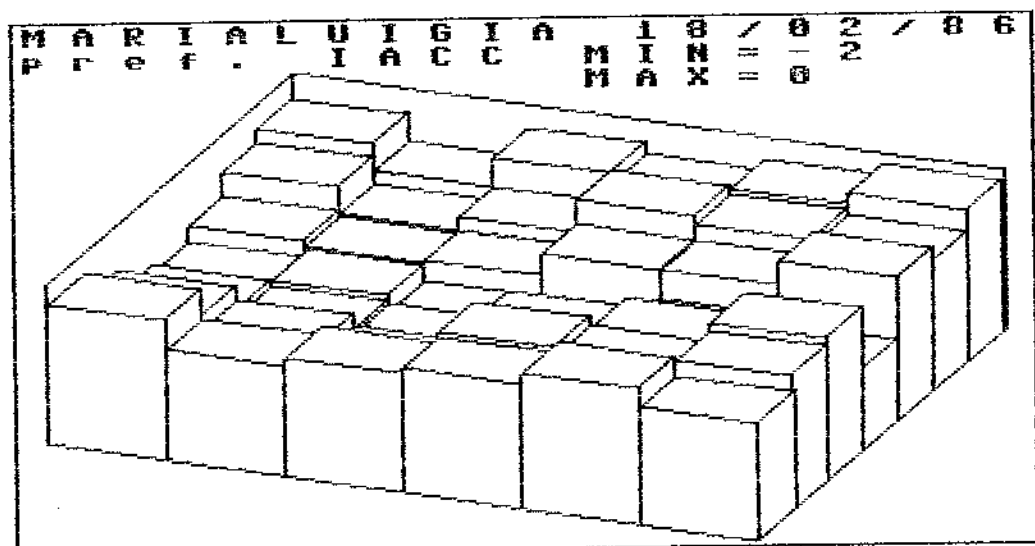


Fig. 6.26: Indice di preferenza del livello sonoro.



L'indice di preferenza della IACC mostra ciò che già era evidente dalla mappatura del parametro fisico: in fig. 6.27 si nota infatti che la preferenza è elevata nelle zone laterali, mentre è molto ridotta al centro delle file, in corrispondenza del corridoio di passaggio.

Considerando il primo brano musicale, con $t_e=43$ ms, si nota che l'indice di preferenza del tempo di ritardo della prima riflessione (ITDG), riportato in fig. 6.28, mostra i suoi massimi valori nella parte posteriore della sala: nella parte anteriore, viceversa, l'ITDG è troppo piccolo, e ciò riduce l'indice di preferenza. Va comunque detto che la sala è tutto sommato di dimensioni piuttosto ridotte, e che non è in alcun modo possibile fare aumentare l'ITDG in ambienti di questa taglia.

Il tempo di riverberazione è un po' troppo lungo per il brano musicale in questione, e questo fatto viene segnalato dalla lieve riduzione del corrispondente indice di preferenza, riportato in fig. 6.29. Si nota una certa variabilità dell'indice di preferenza, cui fa riscontro la completa uniformità del valore del tempo di riverberazione: è la diversa ampiezza equivalente delle riflessioni (A) che produce questa variabilità, poiché ove essa è maggiore (ai lati e dietro) è più avvertibile lo eccesso del tempo di riverberazione.

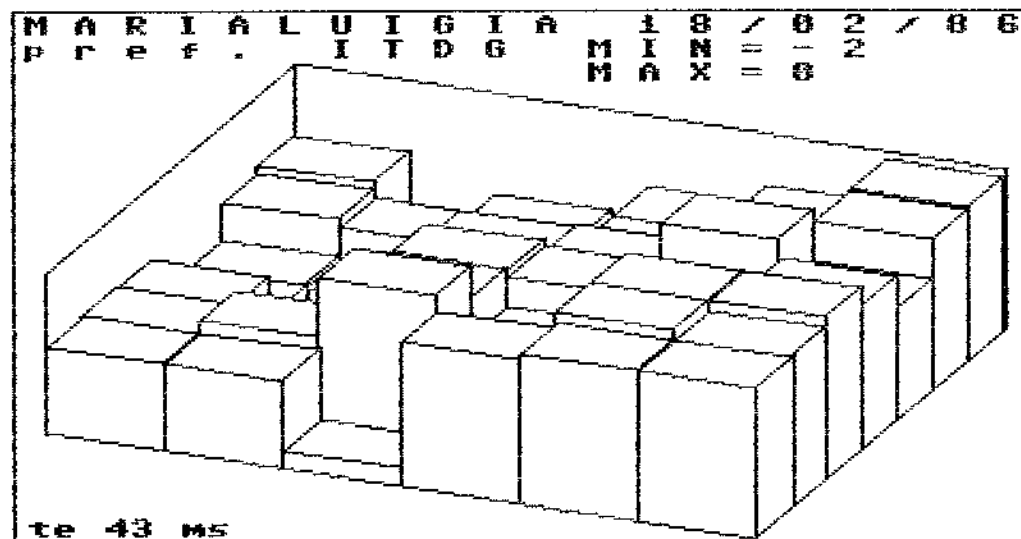


Fig. 6.28: Indice di preferenza del tempo di ritardo della prima riflessione - brano musicale I.

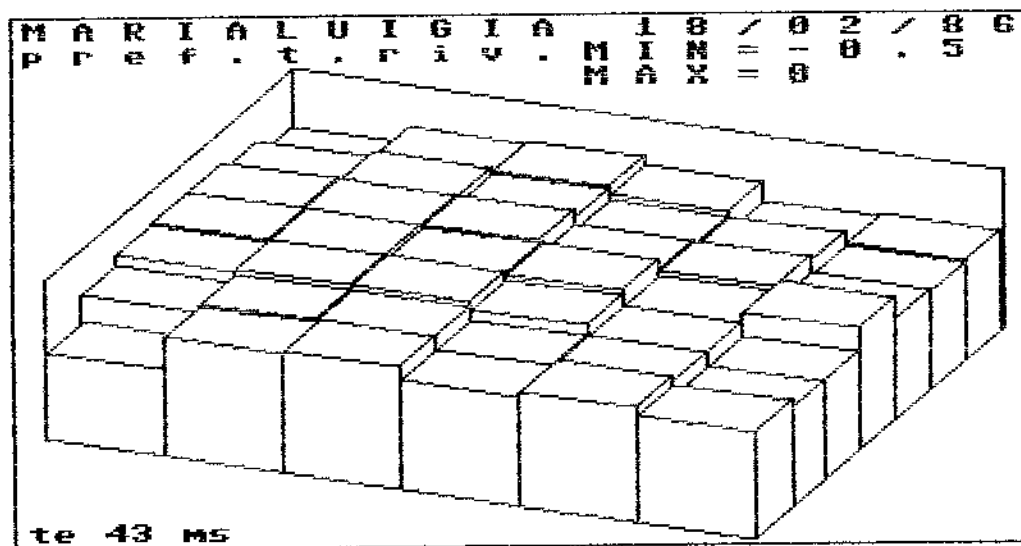


Fig. 6.29: Indice di preferenza del tempo di riverberazione - brano musicale I.

Facendo invece riferimento al secondo brano musicale ($t_e=127$ ms), si nota una sostanziale riduzione dello indice di preferenza dell' ITDG, poiché ora esso risulta ovunque troppo ridotto: ciò è ben evidente dal confronto tra le fig. 6.28 e 6.30. Va comunque ribadito che in un ambiente piccolo è impossibile attendersi valori di ITDG maggiori di quelli riscontrati.

L' indice di preferenza del tempo di riverberazione rimane circa agli stessi livelli del primo brano musicale, poiché ora il tempo di riverberazione è troppo corto: la fig. 6.31 mostra però che ora l' effetto dell' ampiezza equivalente della prima riflessione è opposto a quello di prima, poiché ove essa è più alta si avverte una maggior sensazione di riverberazione, e pertanto l' indice di valutazione è più elevato.

Considerando infine l' indice di preferenza totale, riportato nelle fig. 6.32 e 6.33 per i due brani musicali citati, si nota anzitutto che esso è sostanzialmente più elevato nel primo caso, a causa del miglior comportamento di ITDG. Inoltre il valore è piuttosto variabile da un punto all' altro, e questo fatto viene facilmente spiegato osservando che le pareti laterali movimentate fanno variare parecchio le condizioni di ascolto a seconda che nel punto considerato le riflessioni principali risultino schermate o meno.

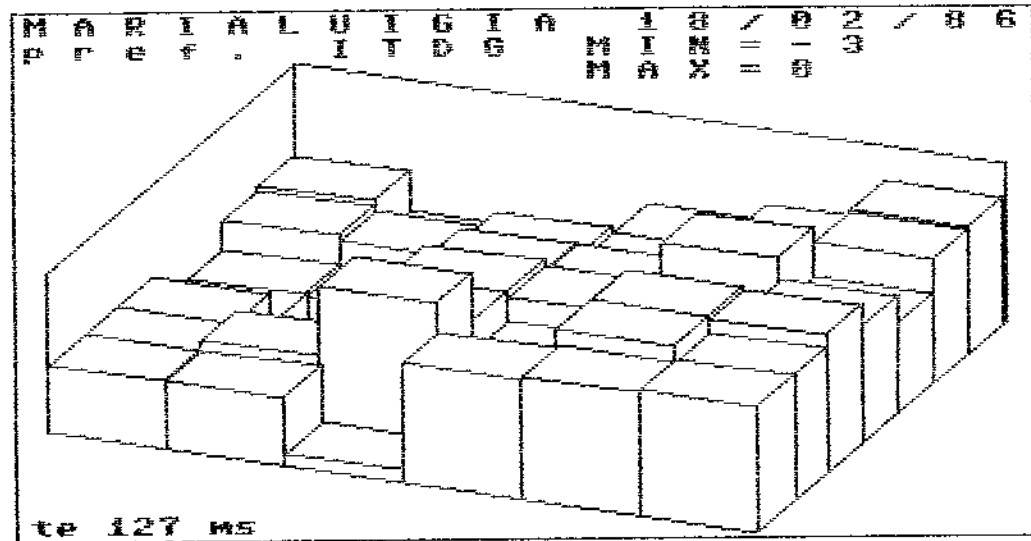


Fig. 6.30: Indice di preferenza del tempo di ritardo della prima riflessione - brano musicale 2.

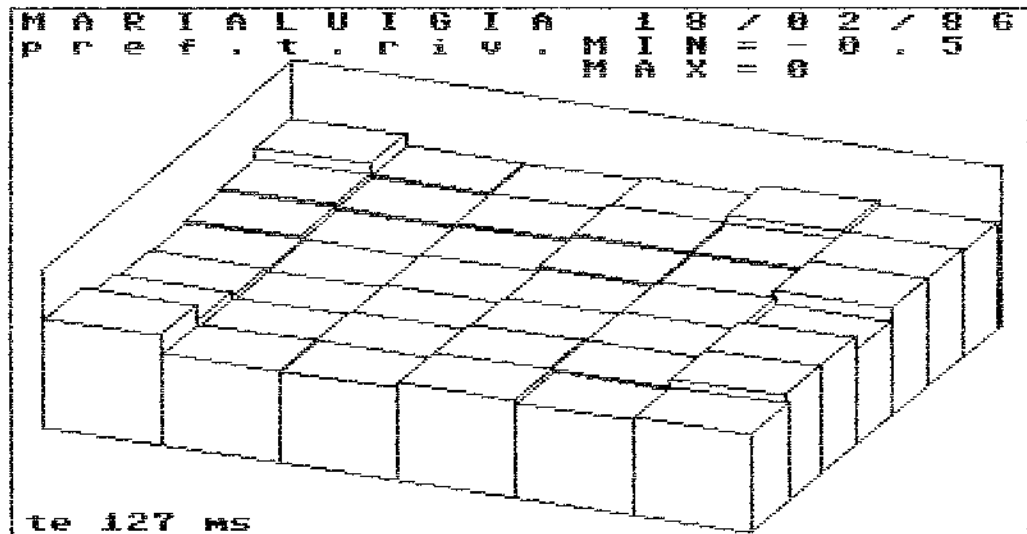


Fig. 6.31: Indice di preferenza del tempo di riverberazione - brano musicale 2.

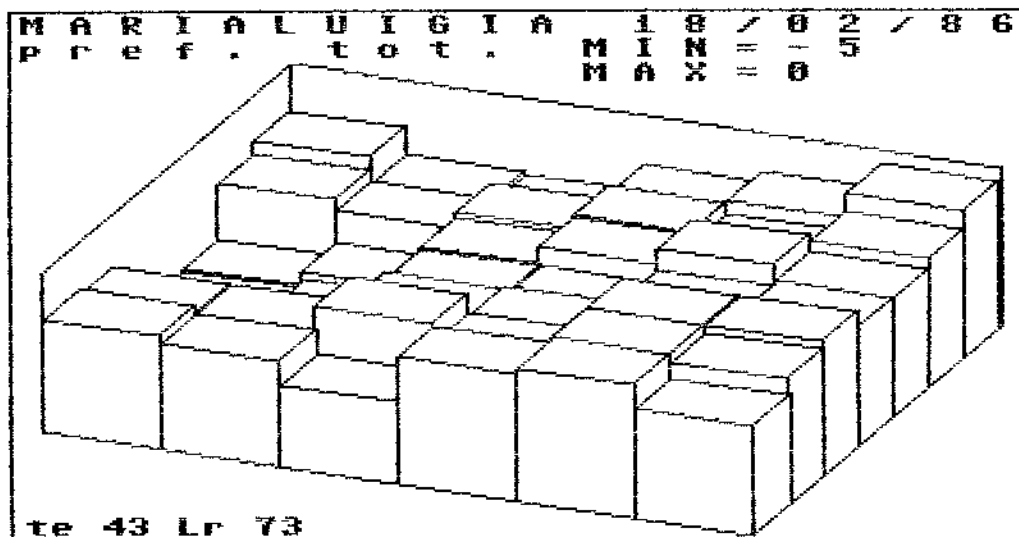


Fig. 6.32: Indice di preferenza totale - brano musicale 1.

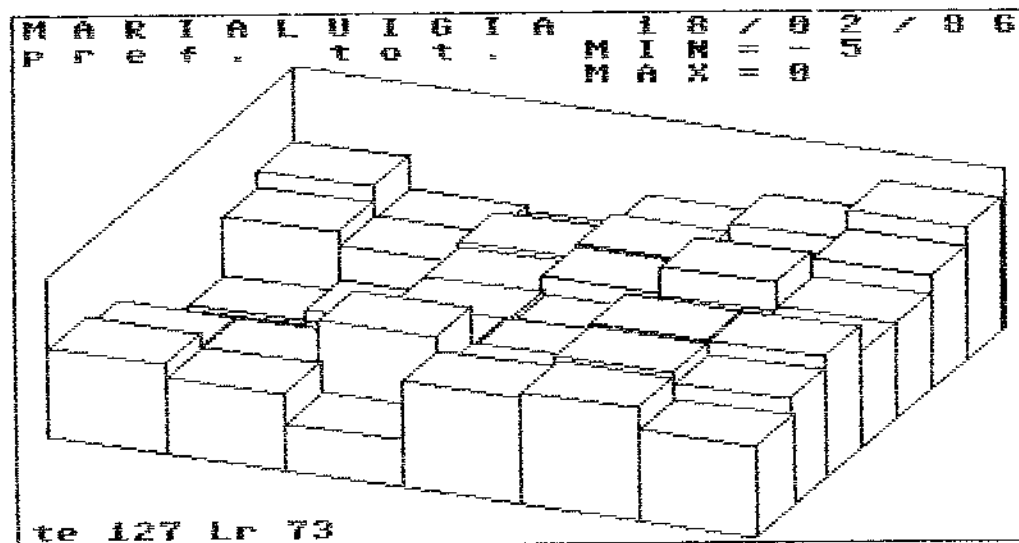


Fig. 6.33: Indice di preferenza totale - brano musicale 2.

In relazione al primo brano musicale il comportamento dell' ambiente è complessivamente buono, mentre esso lascia un po' a desiderare in relazione al secondo; ciò in effetti corrisponde alle reali necessità, poiché la sala viene usata circa in egual misura per il parlato ($t_0 < 15$ ms) e per la musica, limitatamente però a piccoli complessi di musica da camera o moderna, per le quali ben si addicono le caratteristiche riscontrate.

Volendo ulteriormente migliorare le caratteristiche dell' ambiente si potrebbe pensare ad intervenire sulle tende di velluto per l' oscuramento delle finestre, collocandole magari a filo delle pareti, in modo da non ridurre eccessivamente le riflessioni dalla parete laterale sinistra. L' installazione di poltrone imbottite renderebbe la sala utilizzabile proficuamente anche se riempita solo parzialmente, ed inoltre migliorerebbe le condizioni durante le prove dei musicisti prima della effettiva rappresentazione.

La parete di fondo piatta e riflettente andrebbe infine trattata con materiale fonoassorbente, o almeno diffondente, in considerazione anche del fatto che è priva di decorazioni; non è stato peraltro rilevato alcun eco.

6.3 Chiesa "S. Domenico" di Foligno

Su richiesta del Comune di Foligno è stata eseguita la valutazione acustica dello stato di fatto della chiesa di S. Domenico: si tratta di un edificio recentemente acquisito dal Comune, che verrà completamente ristrutturato ed utilizzato come contenitore di eventi culturali e spettacolari. Sebbene si parli in questo caso, almeno formalmente, di restauro conservativo, la ristrutturazione prevede notevoli variazioni della acustica dell'ambiente, che attualmente è simile a quella di tutte le chiese di grandi dimensioni [76,77].

Per meglio valutare gli effetti della ristrutturazione, è stata eseguita una prima campagna di misure, atte a valutare lo stato di fatto prima dello inizio dei lavori. Purtroppo alcuni inconvenienti hanno fatto sì che le misure siano state eseguite mentre nello ambiente era installato un ponteggio metallico, ed in assenza della pavimentazione: ciò ha senza dubbio influenzato i risultati, come d'altronde la mancanza di alcuni serramenti.

A ristrutturazione ultimata verranno rieseguite le misure acustiche, in modo da comprendere se e quali benefici saranno apportati dall'intervento

architettonico.

Nelle figure 6.34 e 6. 35 sono riportate la pianta e le sezioni dell' edificio in esame; si nota la rilevante lunghezza dello stesso, che ha richiesto ben 13 file di punti di misura. Essendo limitato il tempo disponibile, sono stati campionati solo 3 punti per fila, in considerazione anche del fatto che la larghezza della sala non è elevata, perlomeno in rapporto alla lunghezza. Nella fig. 6.36 sono visibili la posizione della sorgente sonora e dei punti di misura. L' altezza del vano è notevole, e per di più il soffitto è costituito da capriate in legno, per cui praticamente non si hanno riflessioni di ritorno da esso; viceversa il pavimento, pur essendo coperto di polvere e residui di intonaco, era in condizioni di riflettere facilmente l' energia sonora, poiché non erano presenti ostacoli di alcun tipo (sedie, panche, banchi).

Accanto alla valutazione eseguita con la procedura qui presentata, sono state effettuate nella chiesa di S. Domenico anche le tradizionali misure acustiche con strumentazione analogica: in pratica sia la mappa dei livelli così determinata, sia i tempi di riverberazione hanno mostrato un sostanziale accordo fra i due tipi di misura.

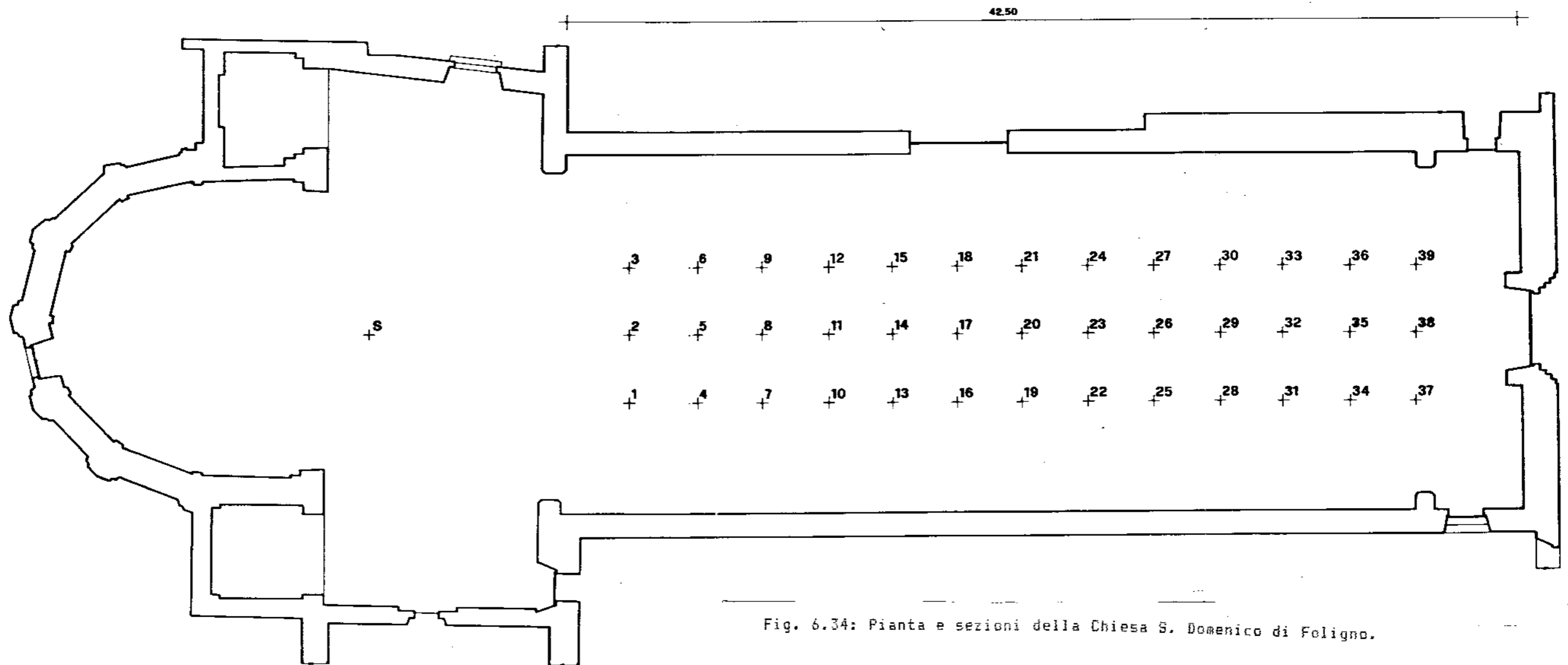
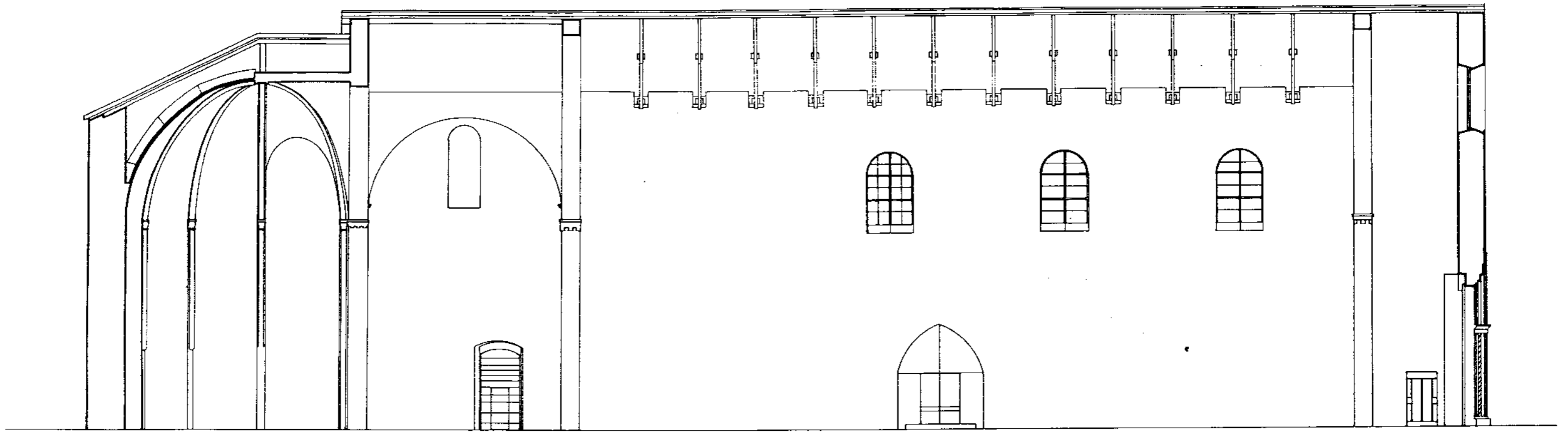


Fig. 6.34: Pianta e sezioni della Chiesa S. Domenico di Foligno.

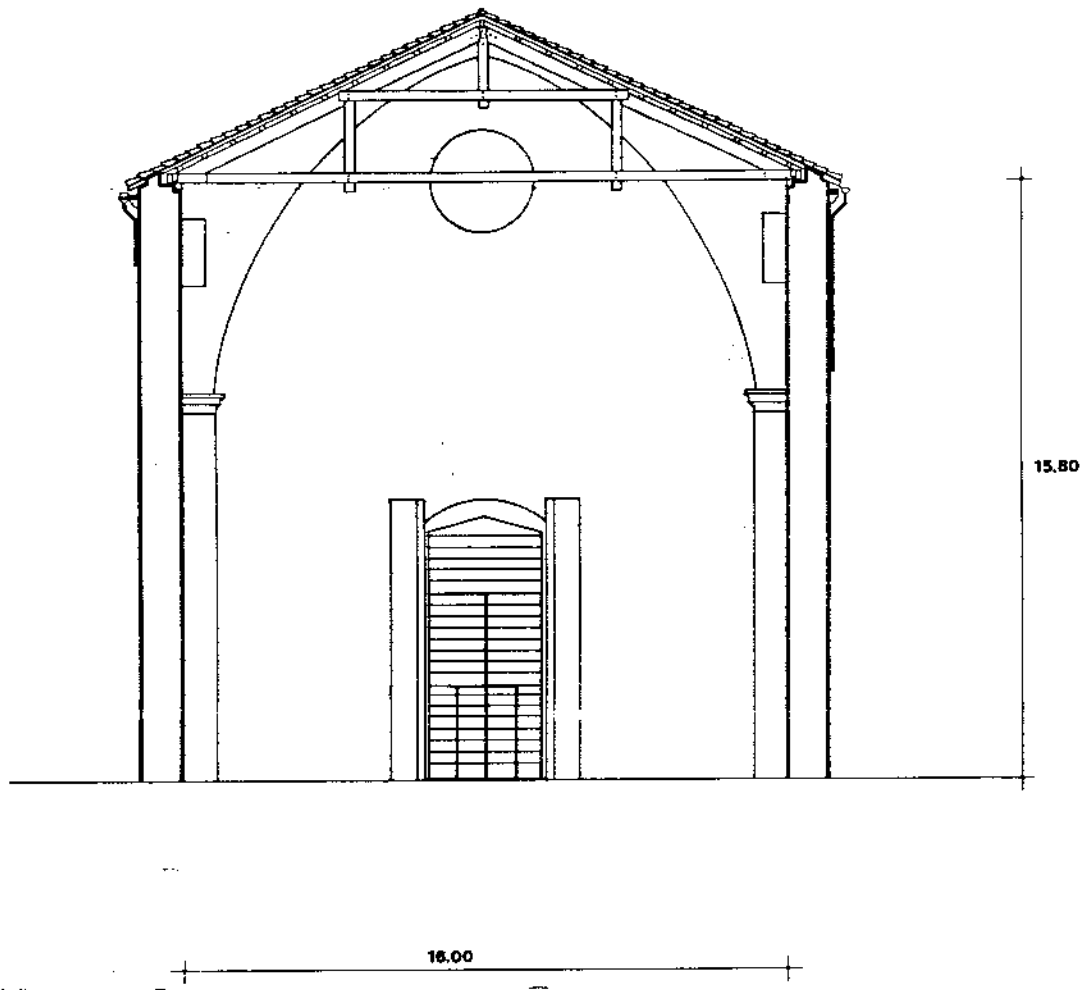


Fig. 6.35: Sezione trasversale della Chiesa S. Domenico.

Nella fig. 6.36 è riportata la mappa del livello sonoro: si nota un valore pressoché costante nella parte anteriore della platea, un progressivo calo nella zona centrale della sala, e di nuovo un valore livellato nella parte posteriore. Vista la notevole lunghezza dello ambiente, era inevitabile doversi attendere una rilevante diminuzione di livello nella parte posteriore; manca una zona anteriore con livello molto forte, poiché i primi punti di misura sono già ad una distanza discreta dalla sorgente (11 m).

Il tempo di riverberazione, visibile in fig. 6.37, mostra la solita grande costanza in tutti i punti dello ambiente, tipica delle sale molto riverberanti. In effetti il valore è piuttosto elevato, poiché rasenta i 4 s. Nonostante ciò, esso non deve essere considerato enorme, poiché altre chiese hanno mostrato situazioni ben peggiori, con tempi di riverberazione superiori ai 10 s [76].

Il tempo di ritardo della prima riflessione (ITDS) è riportato in fig. 6.38: si nota che i punti centrali delle prime due file presentano un valore molto grande, pari a circa 100 ms, a causa della totale mancanza di riflessioni da parte delle pareti laterali. Si vede infatti dalla pianta che la presenza dei due transetti impedisce ai punti in questione di ricevere le riflessioni laterali,

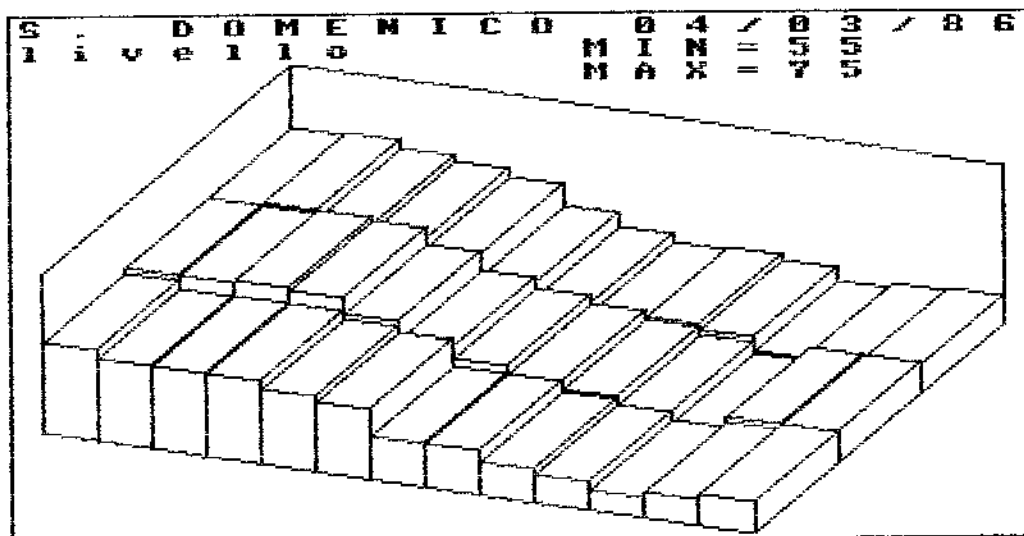


Fig. 6.36: Mappa del livello sonoro.

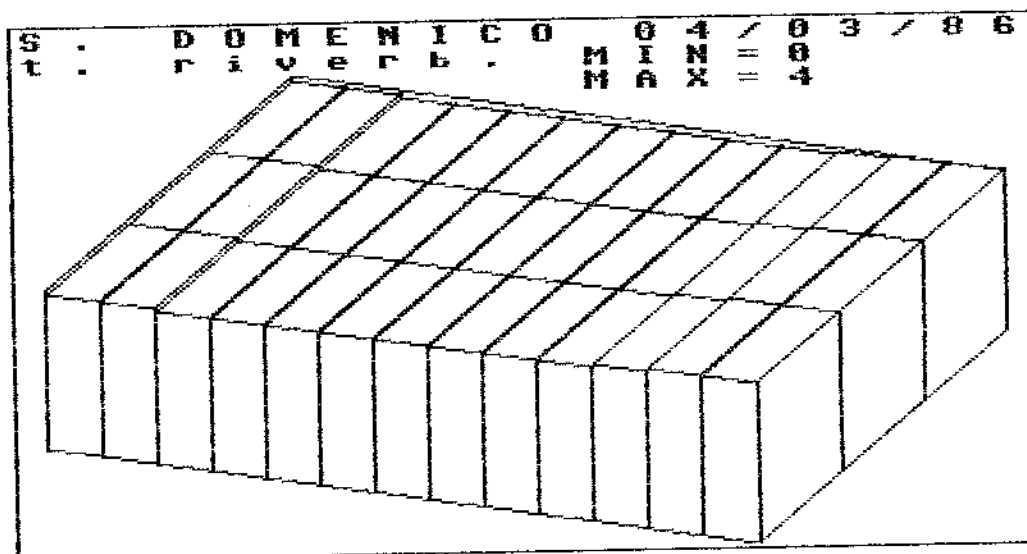


Fig. 6.37: Mappa del tempo di riverberazione.

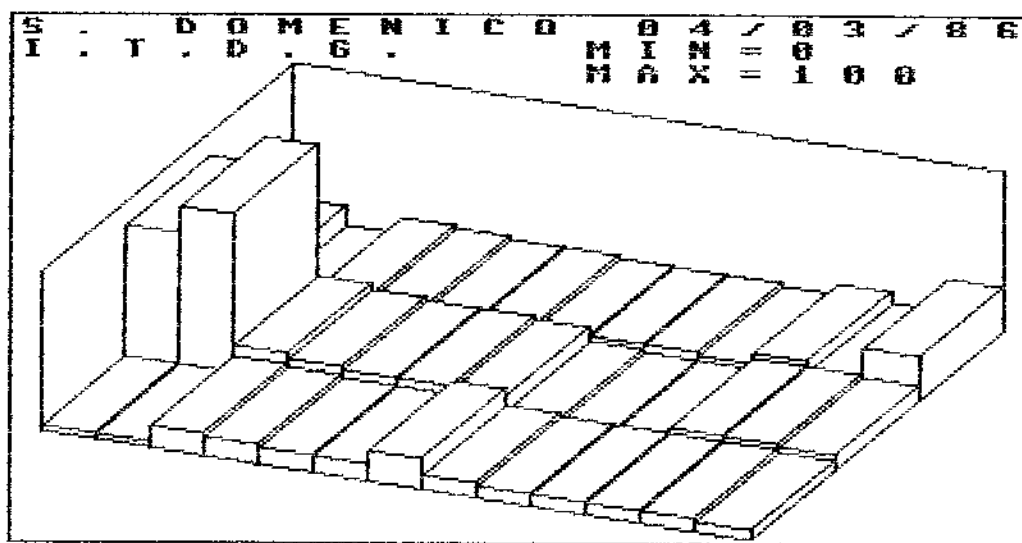


Fig. 6.38: Mappa del tempo di ritardo della prima riflessione.

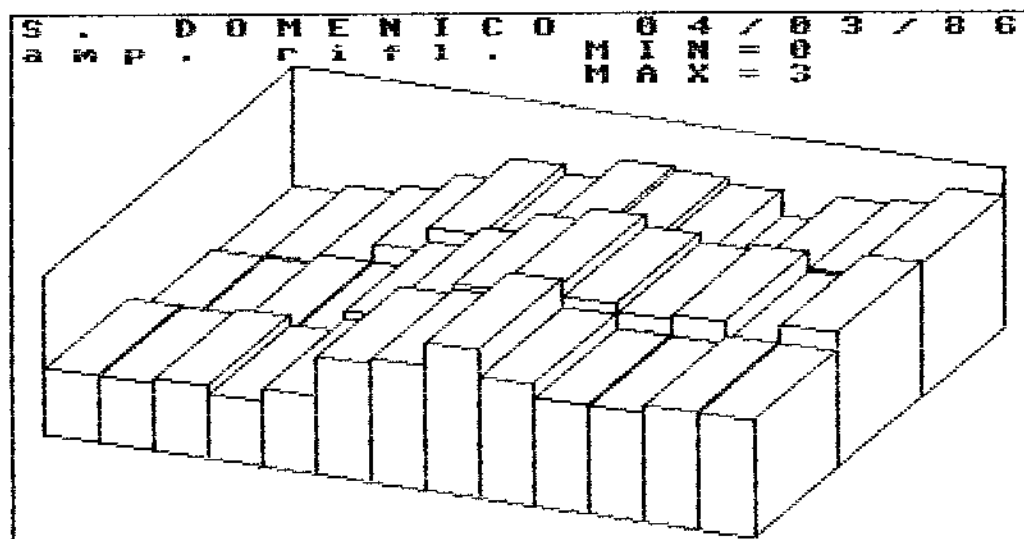


Fig. 6.39: Mappa della ampiezza equivalente delle riflessioni.

per cui la prima forte riflessione (ed anche l' unica) che giunge in questi punti proviene dall' abside. In tutti i restanti punti l' ITDG è piuttosto ridotto, non superando mai i 20 ms. Nell' ultimo punto della sala, a destra della fila di fondo, l' ITDG torna ad un valore più elevato, poiché la riflessione proveniente dalla parete di destra è stata intercettata dal ponteggio metallico situato in questa zona.

L' ampiezza equivalente delle riflessioni A, riportata in fig. 6.39, mostra un andamento praticamente inverso a quello del livello sonoro: esiste infatti una zona della sala più vicina alla sorgente ove il campo diretto è predominante, e l' ampiezza A è pertanto ridotta a valori inferiori all' unità. Essa cresce poi progressivamente nella zona centrale, e si livella attorno al valore 2.5 nella parte posteriore. La graduale variazione del valore dell' ampiezza segnala l' assenza di particolari fenomeni di diffrazione sulle pareti laterali.

Infine la IACC, la cui mappatura è visibile in fig. 6.40, mostra, come è lecito attendersi, un valore elevato nella zona vicina alla sorgente, ove in pratica il campo diretto è predominante. Il valore si riduce poi nella zona centrale, che si potrebbe definire "zona di transizione", ed assume i valori più bassi ai lati della parte posteriore. Il valore estremamente basso visibile nel

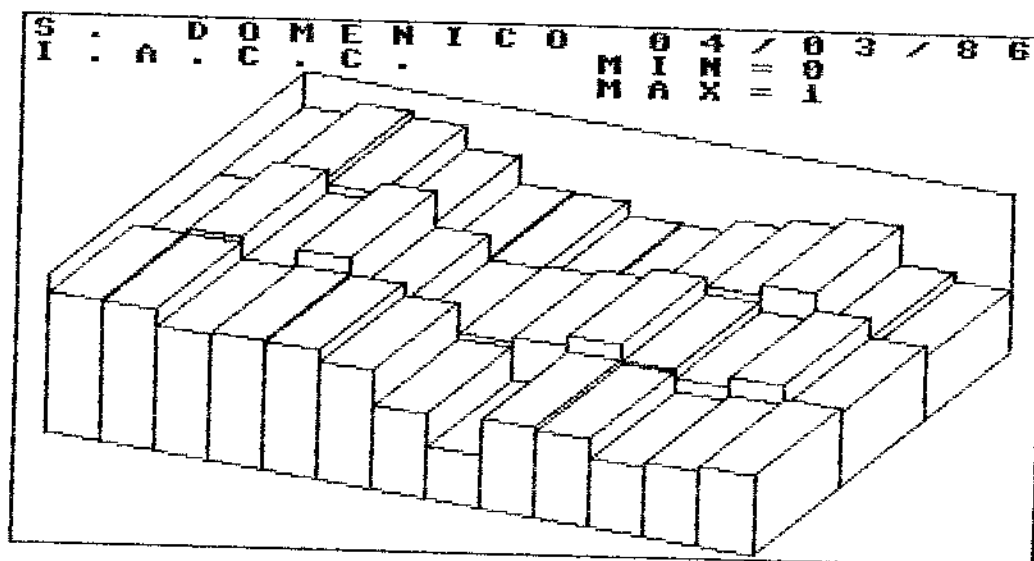


Fig. 6.40: Mappa della IACC.

punto a sinistra della ottava fila non è corretto, poiché osservando le risposte all' impulso misurate in questo punto si nota un disturbo presente durante la registrazione dell' orecchio sinistro, causato probabilmente da qualche occasionale rumore transitorio.

Anche se ovviamente nessuno eseguirebbe della musica in una sala nelle condizioni in cui sono state fatte le misure, è stata ugualmente effettuata la valutazione della qualità acustica con riferimento ai due brani musicali già individuati (Sinfonietta, $t_0=43$ ms e Royal Pavane, $t_0=127$ ms).

E' stato scelto un livello di potenza di 118 dB, cui corrisponde un livello di riferimento di 62 dB(A): è ovvio che in un ambiente così grande sia richiesta una potenza elevata. Ciononostante l' indice di preferenza del livello, riportato in fig. 6.41, assume valori prossimi allo zero soltanto nella zona centrale della sala, mentre è ridotto sia in prossimità della sorgente (livello troppo forte) che in prossimità del fondo della sala (livello debole). La scelta del valore di 62 dB per il livello di riferimento è tuttavia quella che rende massima la preferenza nel maggior numero di posti. Nella realtà probabilmente la potenza sonora non potrà essere così elevata, per cui le condizioni ottimali si verificheranno leggermente più in prossimità della sorgente di quanto qui ipotizzato.

L' unica soluzione corretta ai problemi della distribuzione del livello sonoro sarebbe l' utilizzo combinato di riflettori e di apparecchiature di amplificazione, tenuto anche conto che la presenza degli ascoltatori produrrebbe una ulteriore riduzione di livello nella parte posteriore, dovuta alla attenuazione della onda diretta per incidenza radente.

L' indice di valutazione della IACC è mostrato in fig. 6.42: esso cresce progressivamente verso il fondo della sala, compensando così almeno in parte il peggioramento

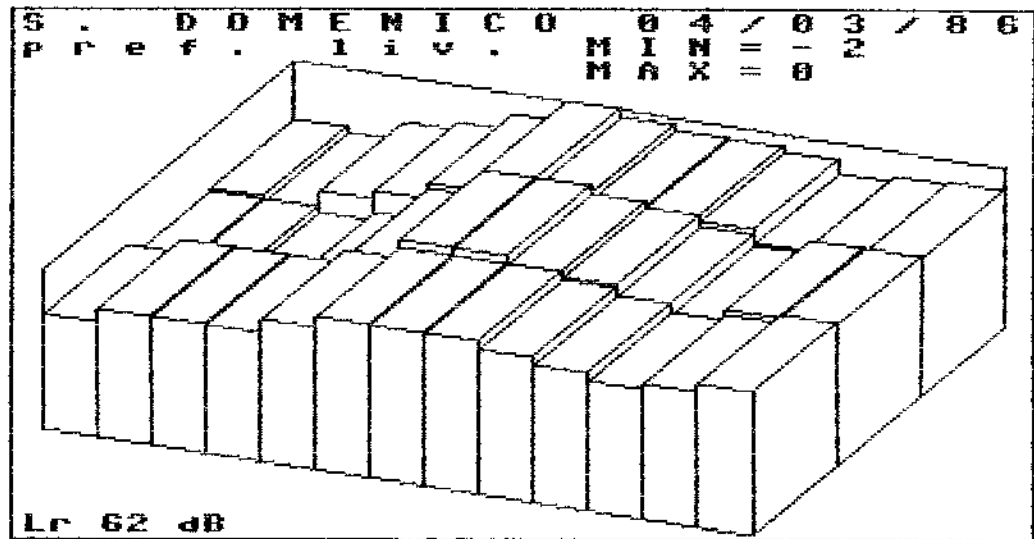


Fig. 6.41: Indice di preferenza del livello sonoro.

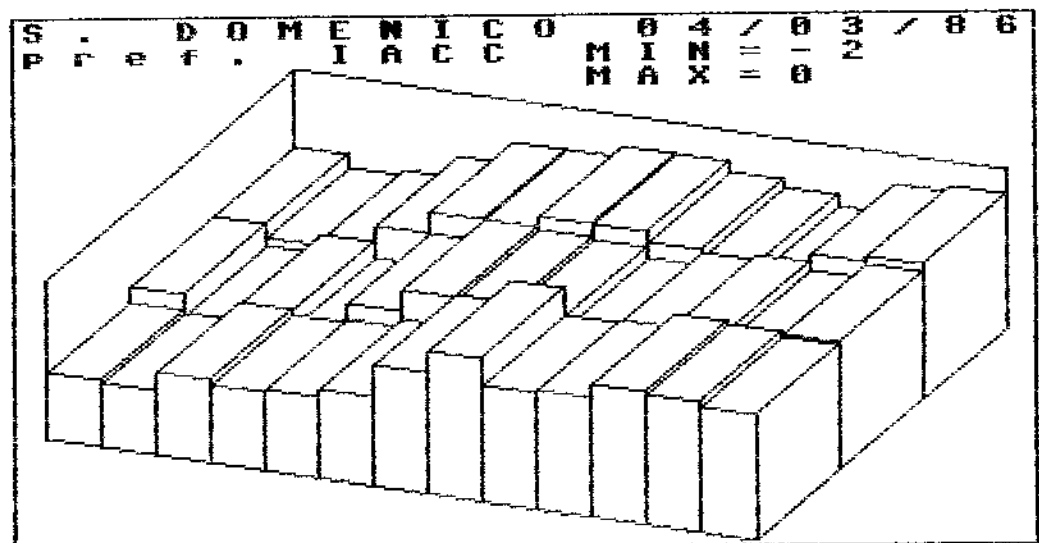


Fig. 6.42: Indice di preferenza della IACC.

della qualità acustica che qui si verifica a causa della eccessiva riduzione di intensità del suono diretto.

Facendo riferimento al primo brano musicale, con $t_0=43$ ms, si nota che il tempo di ritardo della prima riflessione è molto prossimo al valore ottimale in una buona parte dei punti di misura. Infatti in fig. 6.43 si osserva che l'indice di preferenza dell'ITDG è elevato quasi dappertutto, tranne che nei punti laterali delle prime due file, ove la riflessione più forte giunge dal pavimento.

Il tempo di riverberazione è invece decisamente eccessivo, come mostrato dalla fig. 6.44: l'indice di preferenza decresce progressivamente all'aumentare della ampiezza delle riflessioni A, verso il fondo della sala.

Con il secondo brano musicale si verifica, come già riscontrato nelle altre sale, che l'indice di preferenza dell'ITDG si riduce, mentre aumenta quello del tempo di riverberazione: infatti in fig. 6.45 si osserva una drastica riduzione del primo parametro, rispetto alla corrispondente fig. 6.45. Viceversa, in fig. 6.46 si osserva un sostanziale incremento dell'indice di preferenza del tempo di riverberazione, che rimane tuttavia pur sempre eccessivo: difatti l'indice di preferenza cala al crescere della ampiezza A, nella parte posteriore della sala.

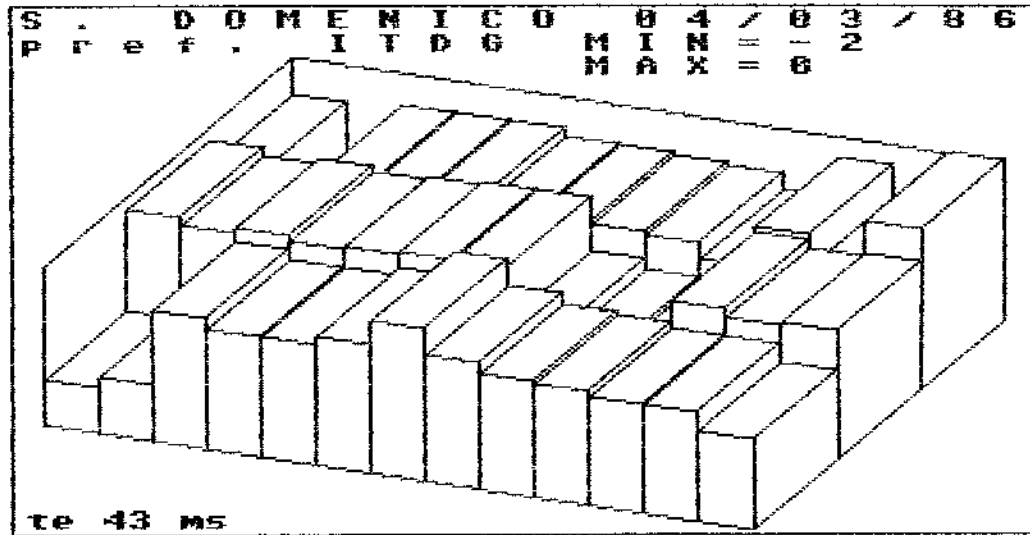


Fig. 6.43: Indice di preferenza del tempo di ritardo della prima riflessione - brano musicale 1.

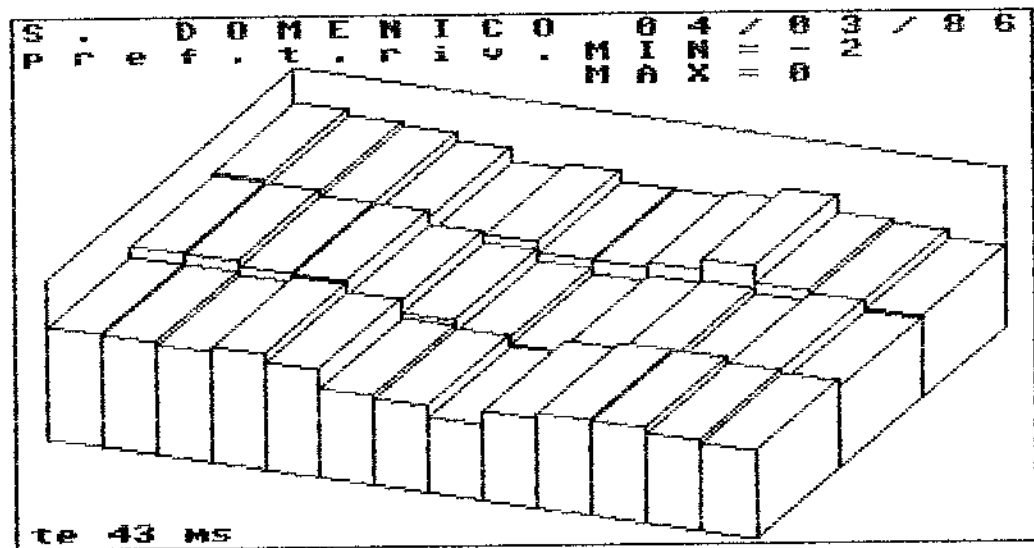


Fig. 6.44: Indice di preferenza del tempo di riverberazione - brano musicale 1.

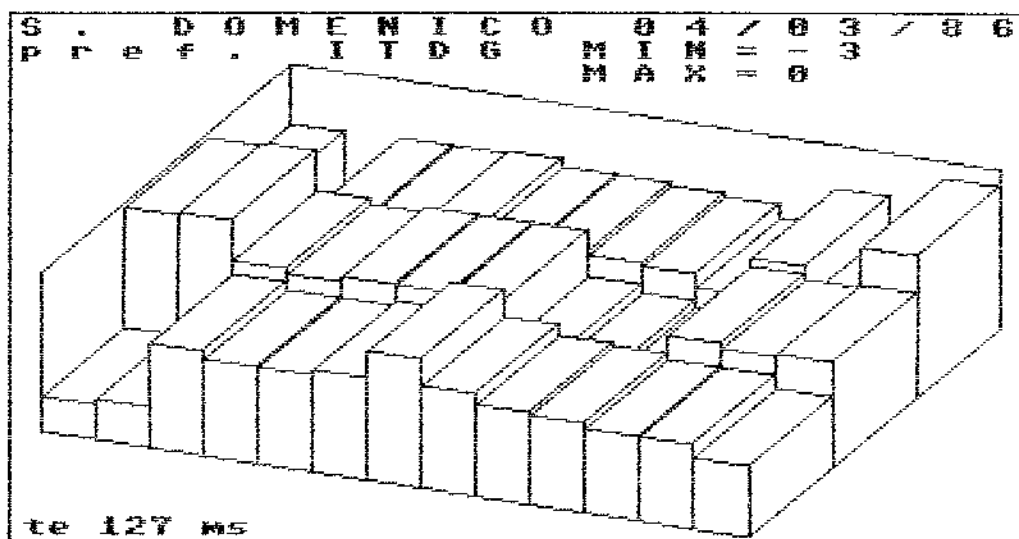


Fig. 6.45: Indice di preferenza del tempo di ritardo della prima riflessione - brano musicale 2.

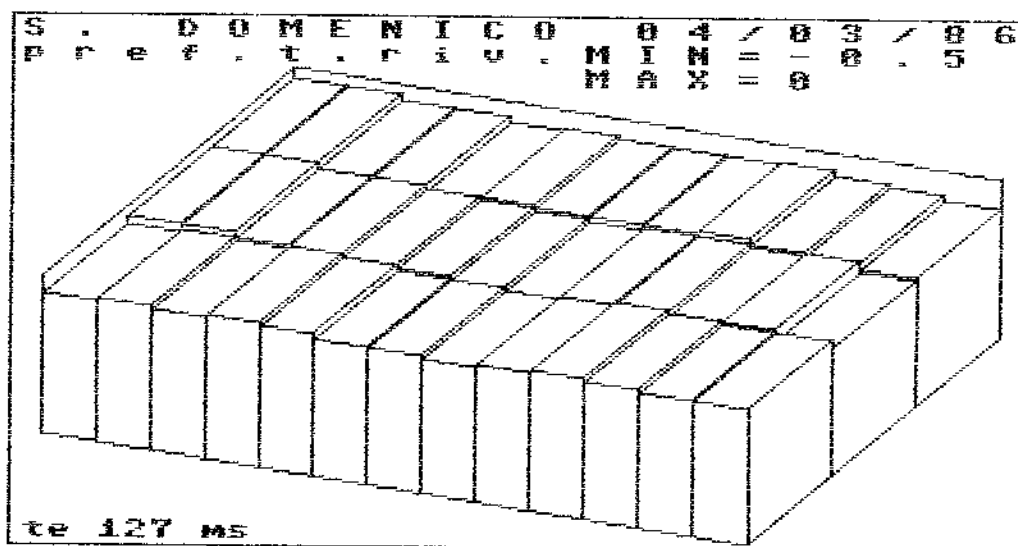


Fig. 6.46: Indice di preferenza del tempo di riverberazione - brano musicale 2.

Dalla sovrapposizione di tutti i fenomeni citati derivano indici di preferenza totale complessivamente piuttosto livellati: in fig. 6.47 si nota infatti che, in relazione al primo brano musicale, l'indice totale oscilla per quasi tutti i punti fra -2 e -3. Il valore non è certo elevato, come era ovvio attendersi, ma perlomeno si nota che i fenomeni negativi presenti non agiscono mai contemporaneamente nello stesso punto, compensandosi vicendevolmente.

Ciò non deve essere inteso come uniformità del campo acustico nell'ambiente: esso è infatti tutt'altro che uniforme. Infatti con il secondo brano musicale i diversi aspetti della valutazione di qualità assumono pesi diversi, come è mostrato in fig. 6.48. L'indice di preferenza totale è in questo caso più variabile, e risulta maggiore nella parte posteriore della sala, mentre nel caso precedente la zona migliore era situata nella parte centrale. È evidente che uno degli scopi dello intervento di correzione acustica del locale dovrà essere la garanzia di più uniformi condizioni di ascolto in relazione alle diverse posizioni degli ascoltatori ed alla diverse rappresentazioni che avranno luogo.

L'ipotesi definitiva di intervento verrà definita solo dopo che la ristrutturazione edilizia primaria avrà avuto luogo, in considerazione dei vincoli di carattere

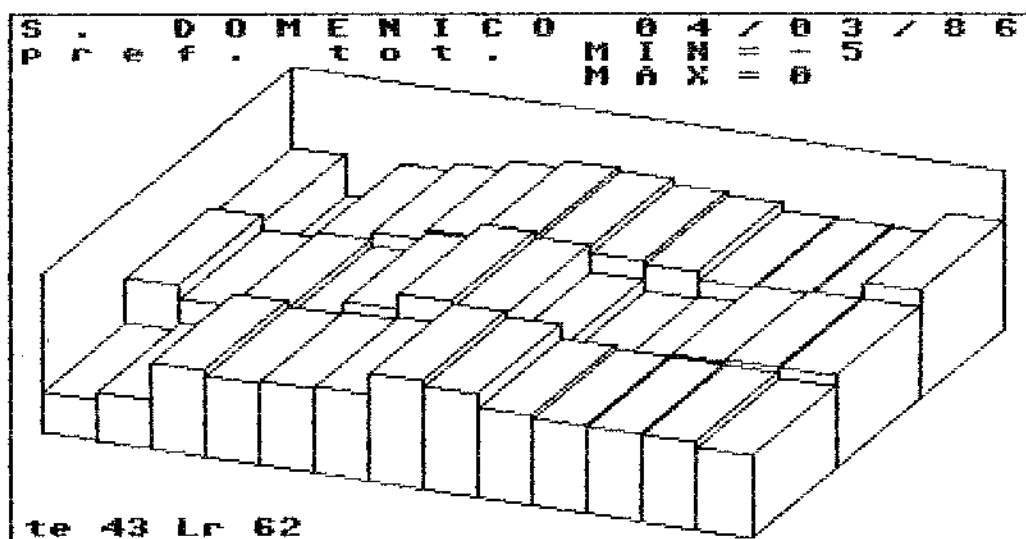


Fig. 6.47: Indice di preferenza totale - brano musicale 1.

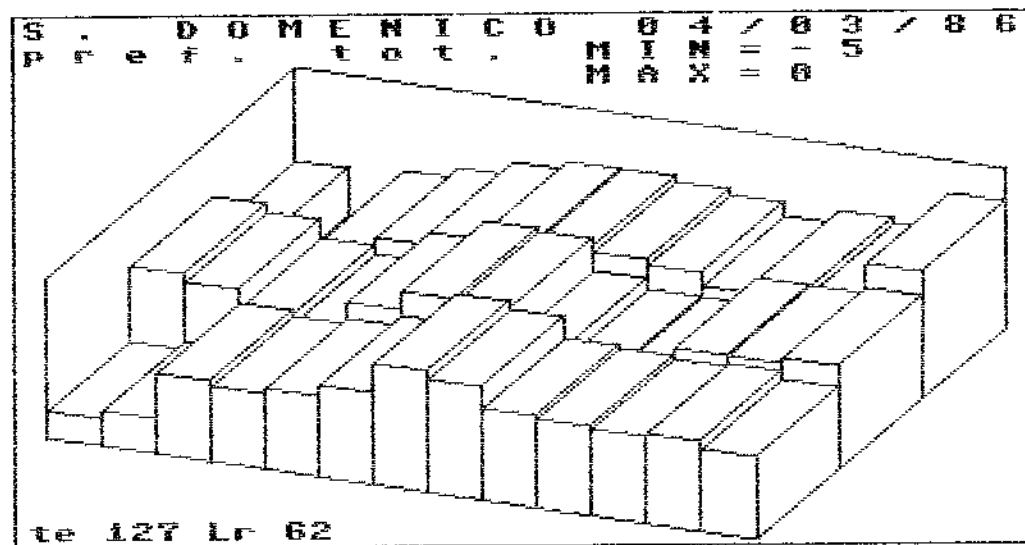


Fig. 6.48: Indice di preferenza totale - brano musicale 2.

architettonico e monumentale presenti. Tuttavia già ora è evidente che sarebbe auspicabile una riduzione della altezza dell' ambiente, conformando il soffitto in modo da garantire adeguato livello sonoro alla parte posteriore della sala. Sarebbe anche utile dotare la platea di una adeguata inclinazione. Una volta fissata la forma del soffitto e l' inclinazione della platea, andrà stabilita quale parte del primo rendere riflettente e quale assorbente, in modo da evitare riflessioni sulla parete di fondo e creare invece riflessioni del secondo ordine soffitto-pareti laterali.

Essendo l' ambiente relativamente stretto, sono già presenti forti riflessioni laterali, per cui non è necessario intervenire per rafforzarle.

La platea andrà opportunamente attrezzata con poltrone imbottite, onde ridurre il tempo di riverberazione anche quando la sala non è occupata completamente. Peraltro la riduzione di volume conseguente all' abbassamento del soffitto e l' assorbimento degli ascoltatori dovrebbero essere in grado di abbassare considerevolmente il tempo di riverberazione rispetto al valore attualmente misurato.

Per le sue caratteristiche geometriche, la chiesa di S. Domenico diventerà probabilmente una ottima sala per concerti di musica classica, utilizzabile proficuamente anche per altri generi musicali basati su orchestre di

discrete proporzioni. Sarà viceversa più difficile riuscire a rendere la sala adatta a prosa o conferenze, per le quali sarà necessario ricorrere ad amplificazione artificiale.

6.4 Teatro "Astra" di Forlì

Il teatro Astra di Forlì è un edificio relativamente recente, di proprietà del Comune della città romagnola, che viene intensamente utilizzato per spettacoli di prosa, varietà e concerti. Di esso è stata richiesta la valutazione della qualità acustica, ed il suggerimento di eventuali migliorie da apportare.

I disegni della sala sono visibili nelle fig. 6.49 e 6.50, riportanti rispettivamente piante e sezione: si nota l'elevata capienza della sala, incrementata notevolmente dalla presenza della loggia che copre la parte posteriore della platea. Pertanto la zona posteriore della platea è completamente priva di riflessioni provenienti dal soffitto della sala. Esse sono scarse anche nella parte anteriore, a causa del profilo sfuggente del soffitto in prossimità del boccascena. Per di più il materiale di rivestimento è costituito da un conglomerato di fibre di legno e cemento, ondulato con orditura trasversale delle ondulations: esso è dunque piuttosto assorbente e diffondente. La loggia è piuttosto inclinata, per cui il suo margine anteriore finisce ad un'altezza ridotta sulla platea, che è solo leggermente inclinata.

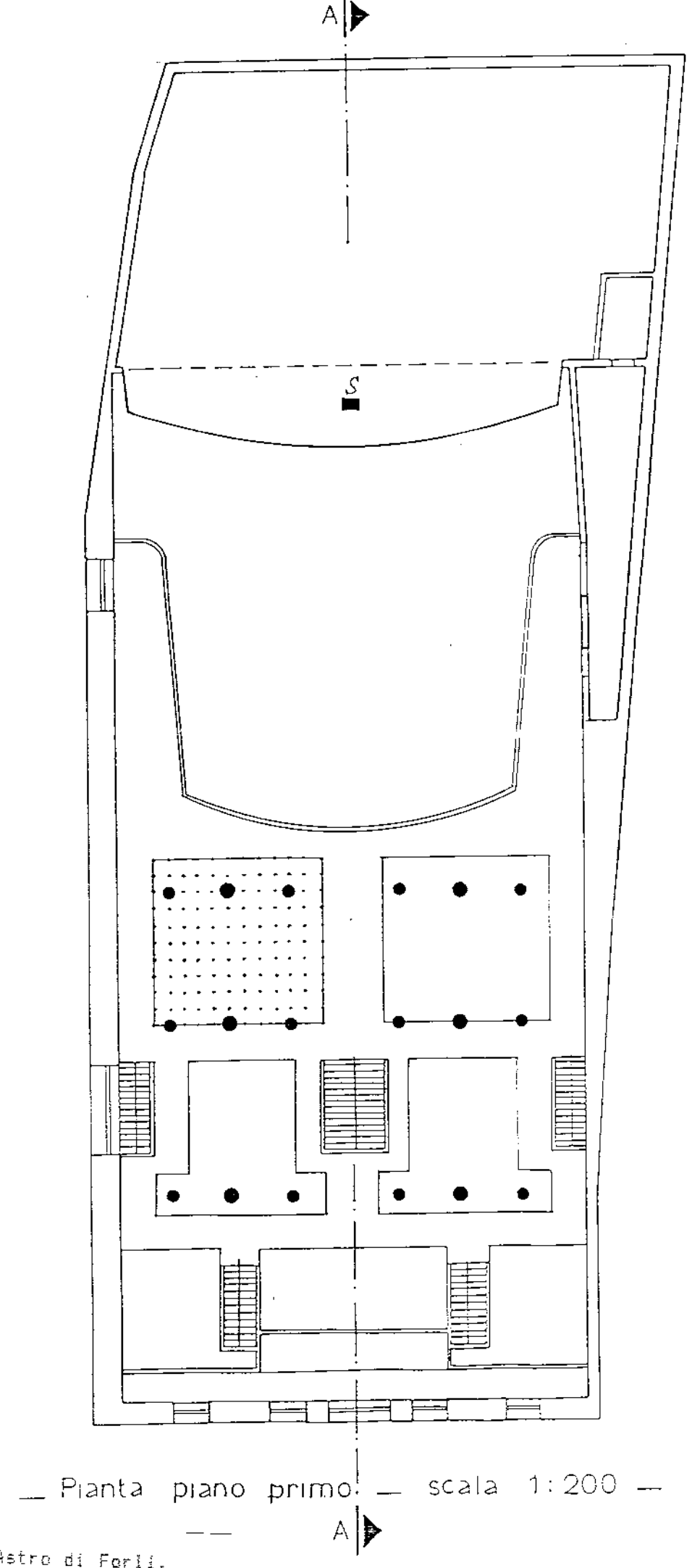
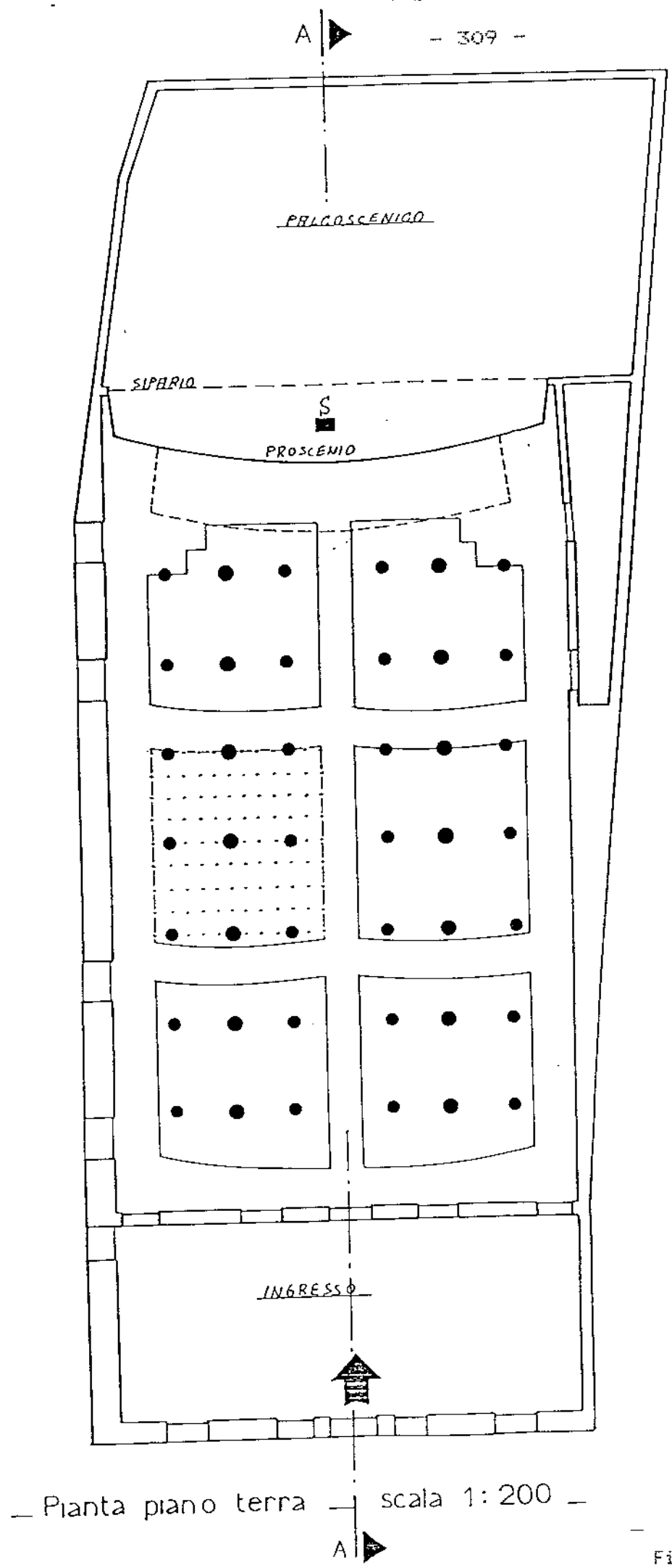
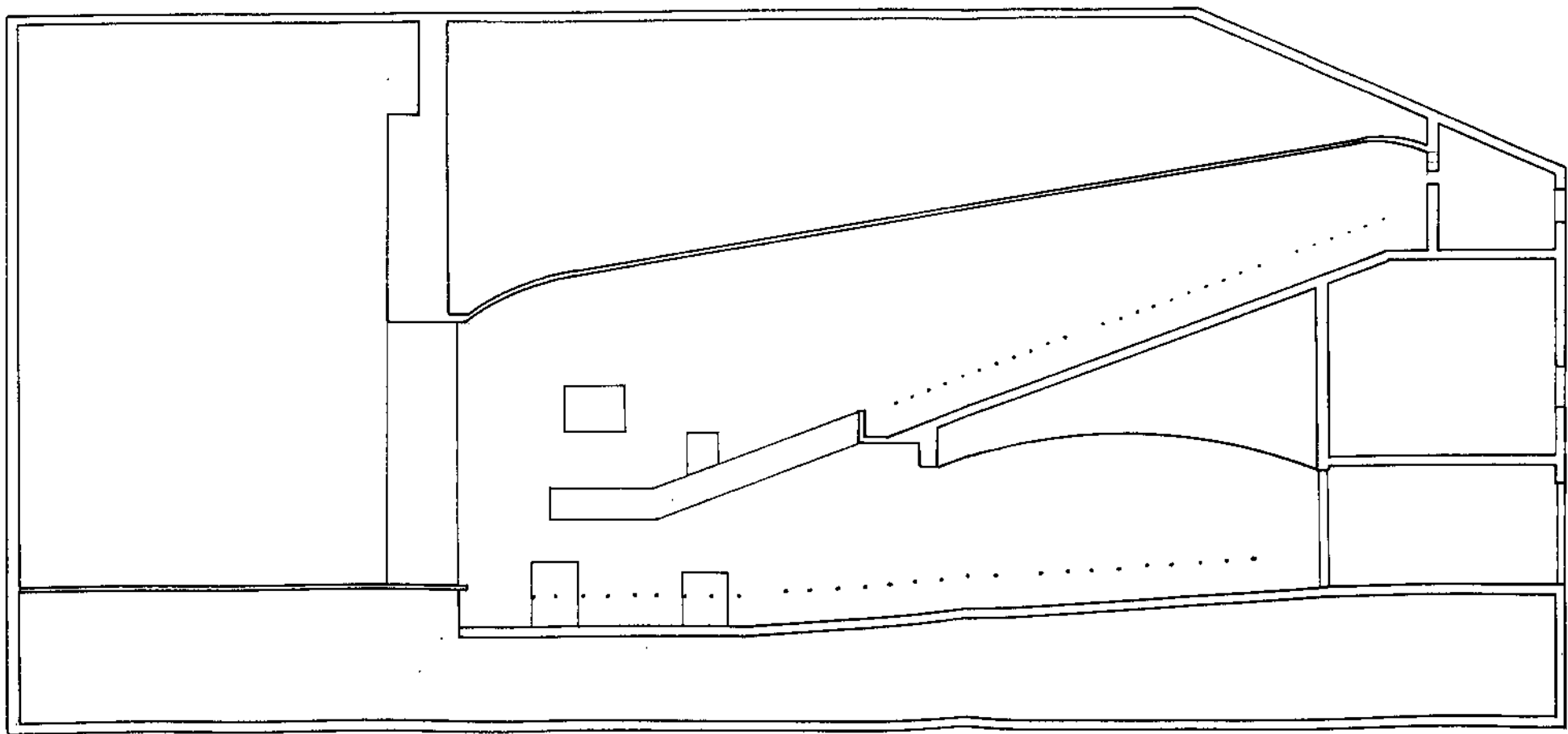


Fig. 6.49: Pianta del Teatro Astro di Ferli.



— Sezione A-A — scala 1:200 —

Vanno tenuti presenti altri importanti particolari della sala in esame: le poltrone sono federate con velluto, e sono molto imbottite; le pareti laterali sono rivestite con pannelli dello stesso materiale del soffitto, ma non ondulati; il primo pannello, in prossimità del pavimento, è invece di cemento liscio (alto circa 1m). Il boccascena è rialzato di circa 2 metri dal piano della platea, ed è presente un pesante sipario in velluto a scorrimento orizzontale. Dietro di esso è installato il sipario tagliafuoco metallico, a movimento verticale, che è stato mantenuto alzato nel corso delle prove. Le porte di uscita sono imbottite internamente con finta pelle, ma le chiusure sono tali da non garantire un buon isolamento.

Dietro il boccascena si trova un palcoscenico di grandi dimensioni, soprattutto molto alto: affinché questo volume, che era interamente vuoto il giorno delle prove, non interagisse negativamente con l'acustica della sala, le misure sono state eseguite con il sipario in velluto chiuso.

Le dimensioni elevate della sala hanno consigliato di adottare sei punti di misura per fila, e di campionare sette file nella platea e tre sulla balconata. Per la presentazione grafica dei risultati, queste ultime tre file sono state collocate subito dietro l'ultima fila di

poltrone della platea: appaiono dunque 10 file di punti di misura, ma le ultime tre debbono essere pensate sostanzialmente sovrastanti alle tre file precedenti.

Le dimensioni ed il forte assorbimento della sala hanno messo a dura prova la potenza della sorgente sonora, che è stata fatta lavorare al limite del sovraccarico per garantire un sufficiente rapporto segnale/disturbo.

In fig. 6.51 è visibile la mappa del livello sonoro: esso è ovviamente più elevato in prossimità della sorgente sonora, decresce poi abbastanza progressivamente e si livella ad un valore abbastanza ridotto nella zona della platea coperta dalla gradinata. Sulla loggia sovrastante, il livello è più alto solo di poco, segno che comunque il soffitto non è in grado di rinviare sugli ascoltatori energia utile.

In fig. 6.52 si può invece vedere la mappa del tempo di riverberazione: contrariamente a tutti i casi precedentemente incontrati, esso è qui piuttosto variabile da punto a punto, oscillando fra 0.7 e 1 s. La variabilità è sicuramente connessa con il valore molto basso del parametro stesso: infatti l'ambiente presenta superfici fortemente assorbenti, con distribuzione non uniforme delle stesse. In questo caso non valgono dunque le usuali ipotesi di uniforme distribuzione statistica del decadimento sonoro, ed il tempo di riverberazione varia da

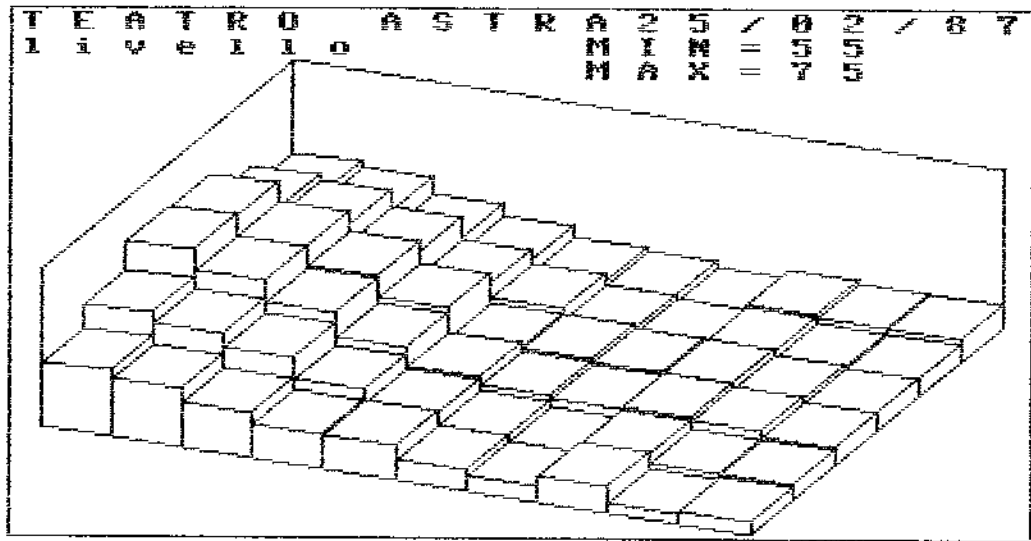


Fig. 6.51: Mappa del livello sonoro.

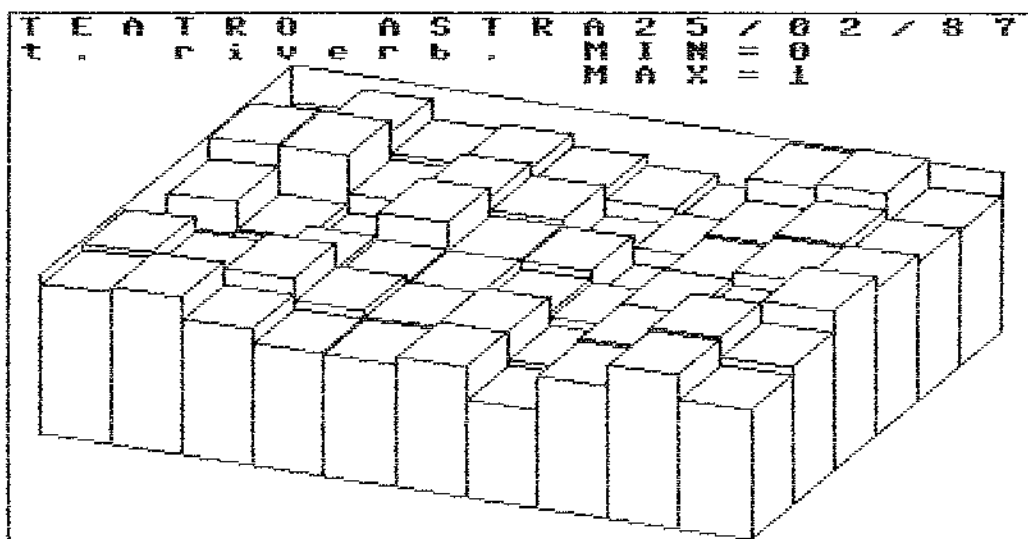


Fig. 6.52: Mappa del tempo di riverberazione.

punto a punto. Ciò deriva forse anche dal fatto che il parametro misurato è un T_{15} , cioè si prendono in considerazione solo i primi 15 dB del decadimento, che sono appunto la parte più influenzata dalla posizione del punto di misura.

L'analisi della distribuzione in frequenza del decadimento sonoro ha fornito questi tempi di riverberazione misurati in ottave:

freq. Hz	250	500	1000	2000	4000	lin.
t.riv. s	1.03	1.00	0.81	0.60	0.62	0.75

Si nota una costante diminuzione al crescere della frequenza, segno che i materiali di rivestimento e l'aria hanno un assorbimento crescente con la frequenza, come è usuale. I tempi di riverberazione sono anche stati misurati, per confronto, tramite l'analizzatore in tempo reale di fig. 2.8, utilizzando sia l'usuale decadimento di un rumore stazionario, sia un rumore impulsivo con susseguente ricostruzione del decadimento sonoro tramite l'integrazione all'indietro di Schroeder [50]: i risultati sono sostanzialmente gli stessi su riportati.

E' evidente che valori così bassi del tempo di riverberazione sono adatti soprattutto alla prosa, mentre in campo musicale la sala è decisamente troppo "sorda". Tuttavia sono presenti riflessioni laterali piuttosto forti, che possono almeno in parte compensare questo

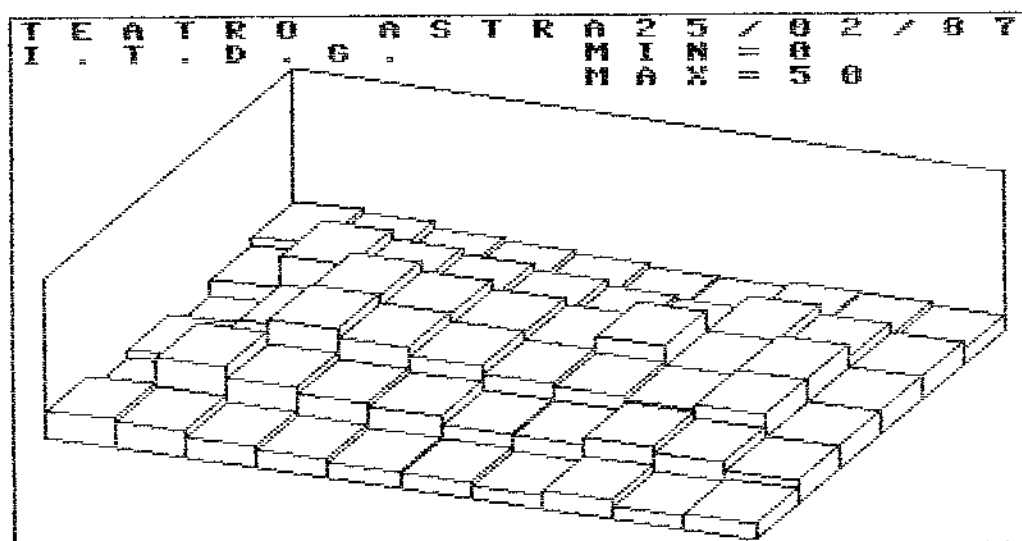


Fig. 6.53: Mappa del tempo di ritardo della prima riflessione.

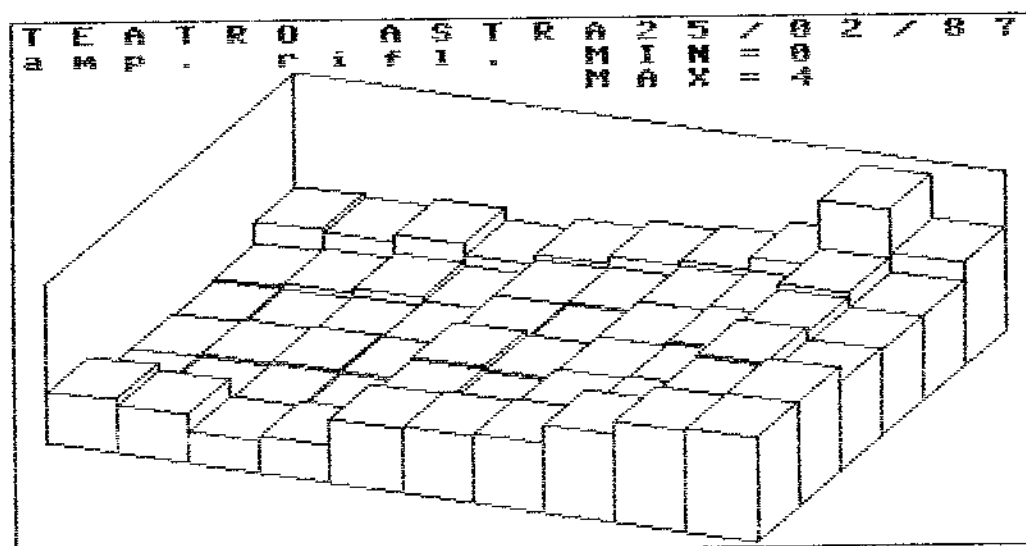


Fig. 6.54: Mappa della ampiezza equivalente delle riflessioni.

problema. Visto l' utilizzo polivalente della sala non è certo auspicabile un aumento generalizzato del tempo di riverberazione.

In fig. 6.53 è riportato il grafico del tempo di ritardo della prima riflessione (ITDG); esso raggiunge i massimi valori (circa 20 ms) nella zona centrale della sala, mentre è più ridotto in prossimità delle pareti laterali. L' ampiezza delle riflessioni A è visibile in fig. 6.54, e si nota che essa cresce ai lati, ma soprattutto nella parte posteriore della sala e raggiunge i valori massimi sulla balconata, ove evidentemente giunge qualche contributo di energia anche dal soffitto.

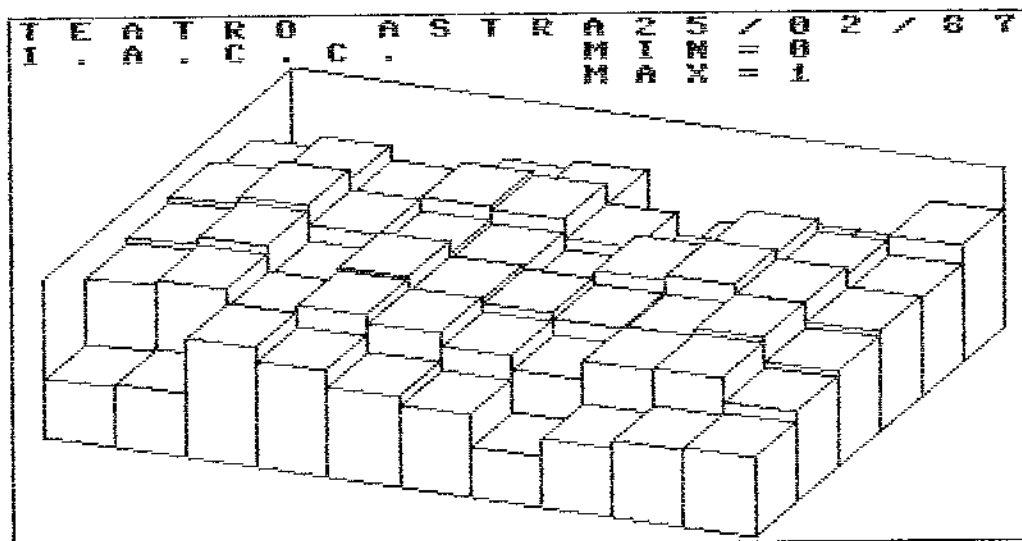


Fig. 6.55: Mappa della IACC.

La fig. 6.55 illustra la mappa della Correlazione Mutua Inter-Aurale (IACC), che è sempre abbastanza elevata in prossimità dell'asse longitudinale della sala, mentre si riduce in vicinanza delle pareti laterali e nella parte posteriore di platea e galleria. Considerando la forma rettangolare della pianta e lo scarso contributo fornito dal soffitto era lecito attendersi valori più bassi della IACC: evidentemente la simmetria del locale e la mancanza di asperità sulle pareti laterali rendono le prime riflessioni meno diffuse del previsto. Va anche detto che in gran parte della platea il campo diretto è predominante, come è mostrato dal valore relativamente ridotto della ampiezza \bar{A} , e ciò deriva dal forte potere fonoassorbente di tutte le superfici.

Per il calcolo degli indici di preferenza si è fatto riferimento ai soliti due brani musicali, con t_0 di 43 e 127 ms. Il livello di riferimento è stato fissato a 60 dB(A), cui corrisponde un livello di potenza di 120 dB: ad un valore così elevato corrisponde evidentemente un livello troppo forte nella zona anteriore della sala, mentre si raggiunge il valore ottimale nella parte centrale e posteriore. La scelta del livello di riferimento è stata fatta in coerenza con le altre sale studiate, per rendere massimo l'indice di preferenza nel maggior numero di posti: in questo caso essa è però

sicuramente divergente dalla realtà, nella quale il livello sonoro è corretto nella zona anteriore mentre è troppo ridotto sotto la balconata. Comunque in fig. 6.56 è riportata la mappa dell'indice di preferenza del livello d'ascolto, che si riduce solo nella ristretta zona in prossimità del proscenio.

In fig. 6.57 è visibile l'indice di preferenza della IACC, che è ovviamente maggiore ai lati e nella zona posteriore della platea e della loggia; al centro delle file esso è abbastanza ridotto, e costituisce la maggior penalizzazione sull'indice di preferenza complessivo. E' dunque evidente che conviene intervenire su questo parametro per migliorare la qualità acustica dello ambiente.

Per quanto riguarda il primo brano musicale, con $t_0=43$ ms, il tempo di ritardo della prima riflessione appare solo leggermente troppo breve, e si hanno i valori massimi dell'indice di preferenza nella zona centrale delle file, come è mostrato dalla fig. 6.58: l'indice di preferenza si riduce poi notevolmente in prossimità della sorgente sonora, poiché qui la prima riflessione proviene dal pavimento.

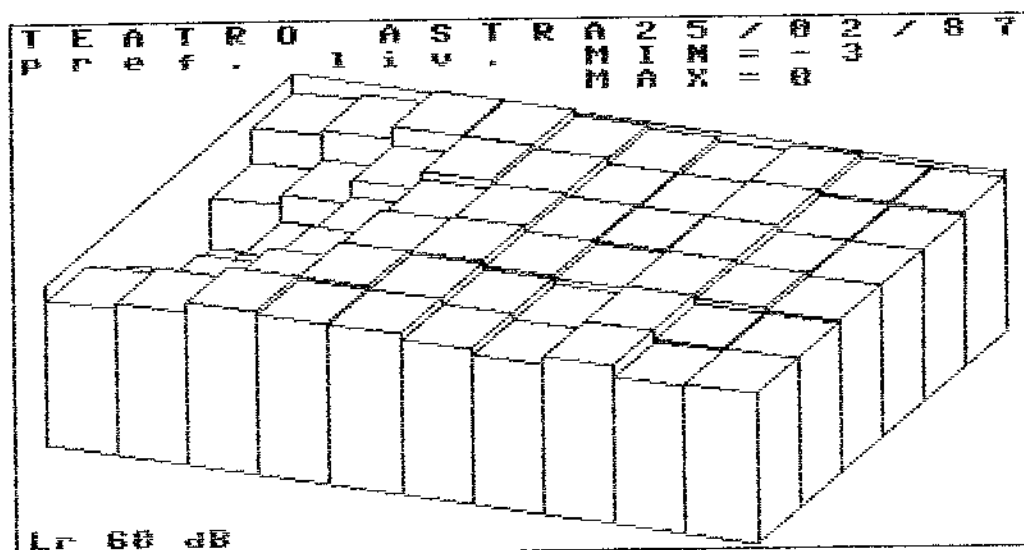


Fig. 6.56: Indice di preferenza del livello sonoro.

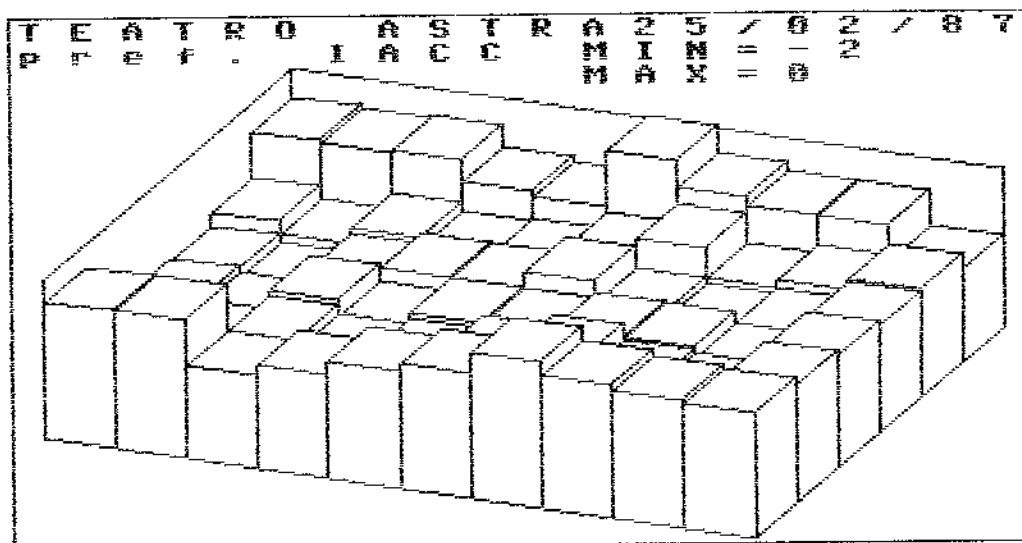


Fig. 6.57: Indice di preferenza della IACC.

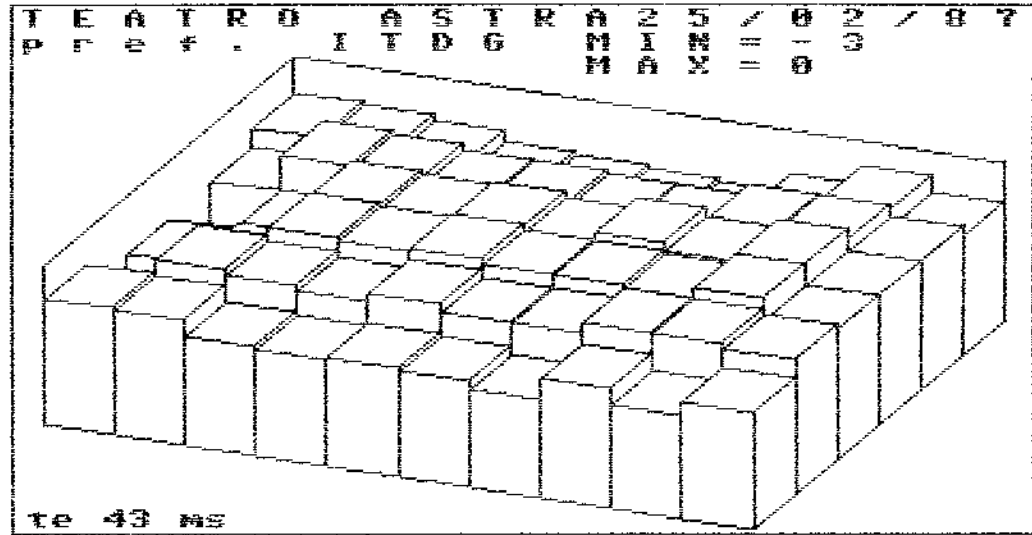


Fig. 6.58: Indice di preferenza del tempo di ritardo della prima riflessione - brano musicale 1.

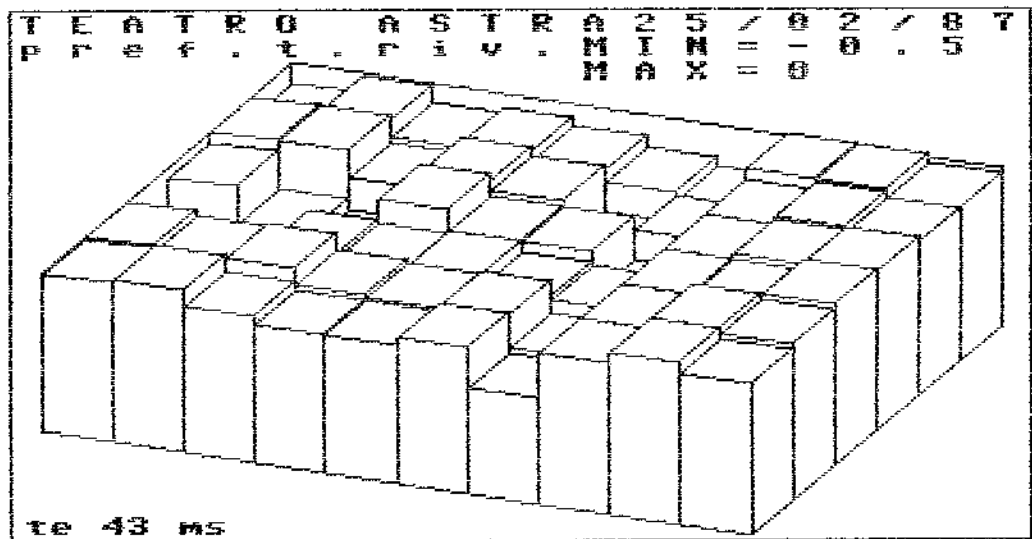


Fig. 6.59: Indice di preferenza del tempo di riverberazione - brano musicale 1.

Il tempo di riverberazione appare sostanzialmente adeguato all' esecuzione del primo brano musicale, e lo indice di preferenza corrispondente è pertanto sempre prossimo allo zero, come si può vedere dalla fig. 6.59.

In riferimento al secondo brano musicale, la sala appare viceversa molto meno adatta: in fig. 6.60 si nota che l' indice di preferenza dell' ITDG si è considerevolmente ridotto, conservando lo stesso andamento del caso precedente ma con una costante penalizzazione di circa una unità. Lo stesso accade per l' indice di preferenza del tempo di riverberazione, che è ora oscillante fra -0.5 e -1 , come si può vedere dalla fig. 6.61.

Nelle fig. 6.62 e 6.63 sono riportati i grafici degli indici di preferenza totale: il primo mostra un valore complessivo piuttosto buono nella quasi totalità dei posti della sala, visto che gli effetti di ITDG e di IACC tendono a compensarsi reciprocamente; nella zona vicina alla sorgente sonora si sommano viceversa tutti gli effetti negativi, e l' indice di preferenza scende notevolmente.

Nell' ultima figura si nota che sostanzialmente la distribuzione dell' indice di preferenza è la stessa, ma il diverso brano musicale richiederebbe tempo di riverberazione ed ITDG più lunghi, per cui si ha un

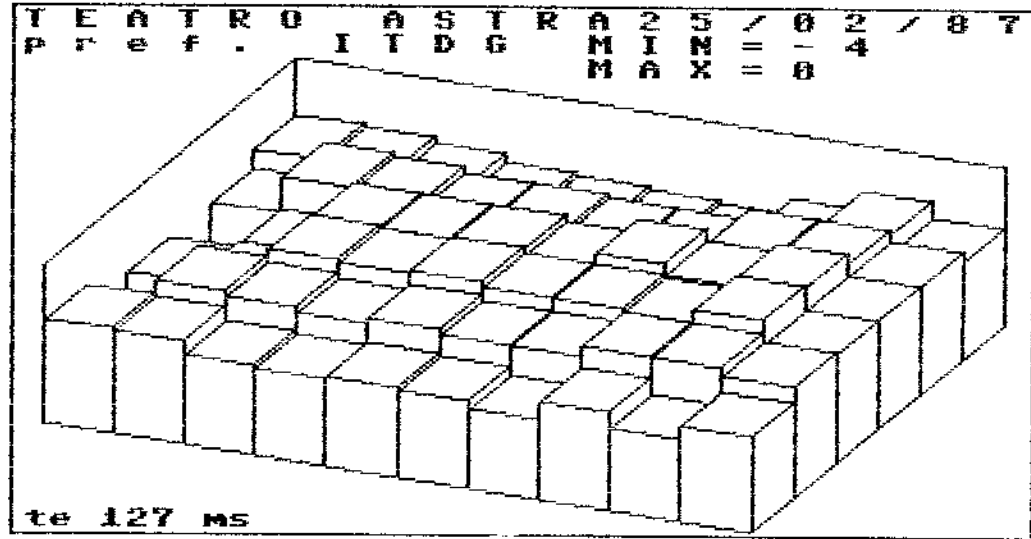


Fig. 6.60: Indice di preferenza del tempo di ritardo della prima riflessione - brano musicale 2.

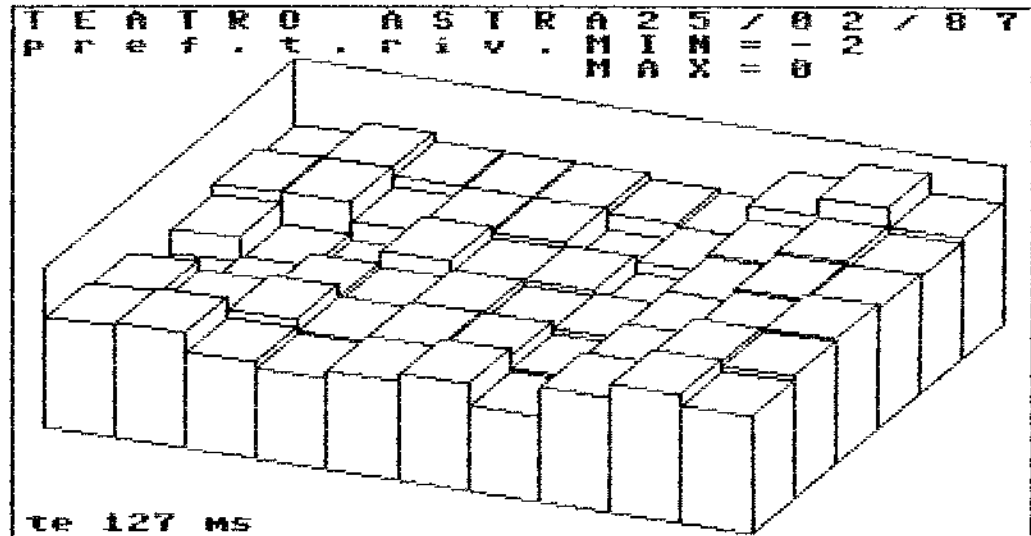


Fig. 6.61: Indice di preferenza del tempo di riverberazione - brano musicale 2.

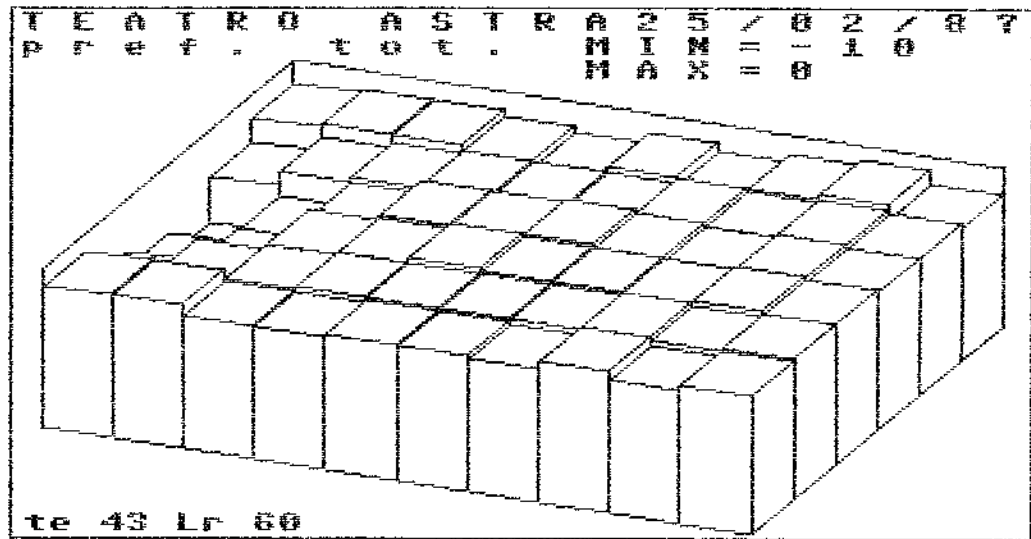


Fig. 6.62: Indice di preferenza totale - brano musicale 1.

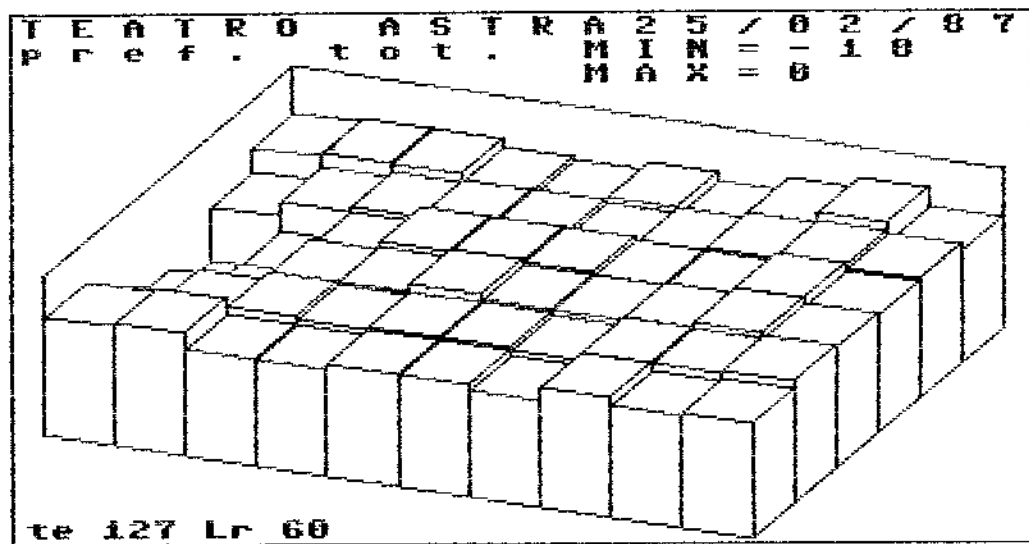


Fig. 6.63: Indice di preferenza totale - brano musicale 2.

generalizzato peggioramento dell' indice stesso. E' evidente che la sala è piú adatta a musica moderna che a musica classica, e raggiunge le condizioni ottimali per la prosa.

E' possibile migliorare le condizioni di ascolto, senza stravolgere le caratteristiche e la vocazione del teatro, aumentando la diffusione delle pareti laterali: i primi due pannelli dal basso andrebbero sostituiti con materiali a basso potere assorbente, ma dotati di buona diffusione del campo sonoro, ottenuta con una opportuna movimentazione della superficie. In questo modo diminuirebbe la IACC praticamente ovunque, e si migliorerebbe l' uniformità del campo sonoro.

Un' altra possibilità, utile piú per la prosa che per la musica, è costituita dall' installazione di un riflettore subito sopra il boccascena: lo studio geometrico mostra però che è estremamente difficile fare in modo che esso invii energia sotto la balconata, in modo da rafforzare il campo diretto, poiché essa è veramente molto bassa.

Nel caso di esecuzioni musicali, specie se per pochi strumenti, sul palcoscenico va installata una opportuna chiusura a paravento, le cui pareti laterali e soffitto vanno studiati in modo da inviare energia sonora verso il fondo della sala, non trascurando un adeguato ritorno di

riflessioni per gli stessi musicisti, che ne hanno bisogno onde potersi sentire reciprocamente ed amalgamare la produzione musicale. Utilizzando per questa "camera di orchestra" materiali piuttosto riflettenti, si dovrebbe far aumentare leggermente anche il tempo di riverberazione, come sarebbe auspicabile per alcuni generi musicali.

Non pare che interventi sul soffitto siano in grado di migliorare la situazione, poiché le riflessioni provenienti dall'alto non sono in grado di infiltrarsi sotto la balconata, e per di più tendono ad aumentare la IACC.

Il tempo di riverberazione cresce anche, ovviamente, a sipario aperto, poiché il volume complessivo aumenta. Nel corso delle rappresentazioni, tuttavia, sul palcoscenico sono presenti quinte, sfondi ed arredi, per cui globalmente la situazione non è destinata a variare di molto. Tutto sommato non è il tempo di riverberazione basso a creare i maggiori problemi, anche in considerazione dell'uso prevalente della sala.