

L'ACUSTICA DELL'ANFITEATRO ROMANO "ARENA DI VERONA"

Cognini M (+), Farina A (*), Pompoli R (°)

(+) Studio di Ingegneria e Ingegneria Acustica - Via Pallone, 8 - 37121 Verona

(*) Dipartimento Ingegneria Industriale - Viale delle Scienze - 43100 Parma

(°) Istituto di Ingegneria - Via Scandiana, 21 - 44100 Ferrara

SOMMARIO

L'articolo descrive il progetto relativo alla nuova sistemazione del palcoscenico, della buca d'orchestra e della platea dell'anfiteatro romano di Verona, normalmente utilizzato nel periodo estivo per la stagione lirica organizzata dall'Ente Lirico "Arena di Verona". Vengono inoltre presentati i risultati di una vasta campagna di misure finalizzate allo studio del comportamento acustico dell'anfiteatro con e senza pubblico.

INTRODUZIONE

Era il 1913 quando Giovanni Zenatello, il tenore veronese applaudito in Italia e nel mondo, e il giovane direttore d'orchestra Tullio Serafini decisero di rappresentare "Aida" nell'anfiteatro romano di Verona per commemorare solennemente il centenario della nascita di Giuseppe Verdi. Non a tutti piacque l'idea: il grande Antonio Guarnieri commentò seccamente "all'aperto si gioca a bocce, non si suona". E forse aveva ragione. Il 10 agosto 1913 "Aida" andò in scena e fu un grande successo di pubblico. Da allora sono passati 80 anni, e con le sole interruzioni delle due guerre mondiali, l'"Arena di Verona" ha ospitato ogni anno la stagione lirica e milioni di spettatori.

L'occasione per approfondire la conoscenza dell'acustica dell'Arena venne offerta agli Autori nel 1990 quando l'Ente lirico chiese di proporre una nuova sistemazione della buca d'orchestra e della platea. L'articolo illustra i risultati e le proposte di quello studio.

CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA DELL'ANFITEATRO

L'acustica di un teatro all'aperto é caratterizzata dall'assenza delle riflessioni provenienti dal soffitto e dalla mancanza di una vera e propria riverberazione: il campo acustico é determinato dalle onde dirette e da quelle riflesse prodotte dalle eventuali superfici laterali. La qualità acustica di questi spazi si basa proprio sulla interazione tra campo diretto e riflesso e sulla loro ottimizzazione in relazione al tipo di musica che viene eseguita.

Nel caso dell'opera lirica occorre assicurare una buona trasmissione del messaggio musicale e di quello cantato in modo che giungano al pubblico in un perfetto bilanciamento di livello sonoro e composizione in frequenza. Deve essere inoltre garantito lo stesso bilanciamento tra cantanti, orchestra e direttore.

Con il preciso scopo di studiare il comportamento acustico dell'anfiteatro, le indagini sperimentali hanno riguardato la determinazione di quei parametri che caratterizzano il campo acustico diretto e le prime riflessioni. Sono state così rilevate le seguenti grandezze.

L' *indice di chiarezza* C_i , definito come il rapporto, espresso in decibel, dell'energia sonora diretta e riflessa che arriva nei primi 50 o 80 ms e tutta l'energia sonora che arriva all'ascoltatore: nel seguito verrà indicata con (C_{50}) e (C_{80}) rispettivamente: valori ottimali di C_{80} per l'opera lirica sono compresi tra +/- 2 dB.

Il *tempo baricentrico* (t_b) definito come media, energeticamente pesata, del tempo di arrivo delle singole onde sonore: valori ottimali per l'opera lirica sono inferiori a 80 ms;

Il *RASTI* (*RApid Sound Transmission Index*) indica il grado di intellegibilità del parlato: i valori ottimali per una buona intellegibilità sono maggiori di 0.7;

La *Inter Aural Cross Correlation* (*I.A.C.C.*), parametro dipendente dal grado di similarità degli eventi sonori ricevuti dalle orecchie dell'ascoltatore sia per quanto riguarda la direzione di provenienza che il tempo di arrivo: l'effetto stereofonico del campo acustico é infatti garantito dallo sfasamento dei segnali che raggiungono le orecchie dell'ascoltatore. Le riflessioni tuttavia devono arrivare entro i primi 50 ms dopo l'onda diretta. Valori consigliati di I.A.C.C. per l'opera lirica sono i minimi possibili purché superiori al valore limite 0.3, al di sotto del quale si perde la capacità di localizzare la sorgente sonora.

La *distribuzione del livello sonoro*: quest'ultimo parametro permette di conoscere la distribuzione del livello di ascolto nelle diverse posizioni occupate dal pubblico e quindi permette di rilevare eventuali difetti come focalizzazioni o zone d'ombra del campo acustico.

Campagna di misure

Le misure di tali grandezze sono state ottenute utilizzando la strumentazione rappresentata in figura 1, essenzialmente costituita da un altoparlante omnidirezionale con amplificatore di potenza incorporato, da una scheda acquisizione dati A2D160 e software MLSSA (DRA Laboratories), installata su un Personal Computer EPSON AX3/S, da un radiomicrofono FM 198 MHz Nady mod. 701, da una "testa artificiale" con microfoni auricolari Sennheiser mod. MKE 2002 SET, e da un fonometro integratore di precisione Bruel & Kjaer mod. 2231.

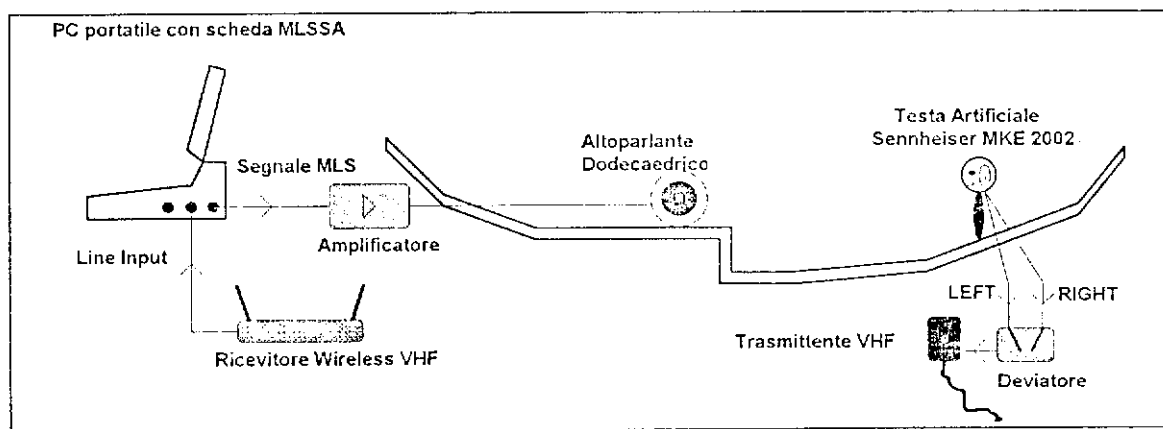


Fig. 1 - Schema del sistema di misura

Le misure delle diverse grandezze sono state condotte in posizioni significative della platea, delle gradinate e della "buca d'orchestra"; mentre nei primi due casi si trattava di acquisire informazioni sulle qualità di ascolto dell'anfiteatro nelle zone occupate dal pubblico, nel secondo caso si volevano valutare le prestazioni acustiche del sistema "palcoscenico - buca d'orchestra" dal punto di vista del direttore, dei professori d'orchestra e dei cantanti.

Le misure in platea tendevano ad evidenziare l'andamento delle riflessioni prodotte dalle gradinate dell'anfiteatro e la presenza di eventuali fenomeni di focalizzazione. Inoltre si è voluto studiare l'andamento del campo acustico diretto, tenuto conto in particolare dell'assorbimento dovuto alla propagazione radente del suono sul pubblico.

Le misure sulle gradinate erano finalizzate alla determinazione del livello di ascolto ed alla conoscenza della percezione stereofonica del messaggio musicale proveniente dalla "buca d'orchestra".

Sono state condotte due campagne di misure: senza il pubblico e con il pubblico. Nel primo caso la sorgente sonora é stata collocata in alcune posizioni usualmente occupate dai musicisti e dai cantanti; per ciascuna di tali posizioni, le diverse grandezze acustiche sono state rilevate in punti significativi della platea e delle gradinate. La figura 2 rappresenta le posizioni in cui é stata collocata la sorgente e dove sono state eseguite le diverse misure. In questa configurazione dell'anfiteatro sono state condotte due serie di misure: la prima con sorgente sul palcoscenico e ricevitore nelle diverse posizioni in platea e sulle gradinate come rappresentato in figura 2; la seconda con sorgente sul palcoscenico e nella buca e ricevitori allineati in platea come rappresentato in figura 3. I rilievi con il pubblico sono stati eseguiti nell'agosto del 1990, durante gli intervalli dell'opera "Tosca". La figura 4 illustra i punti di misura e la posizione della sorgente

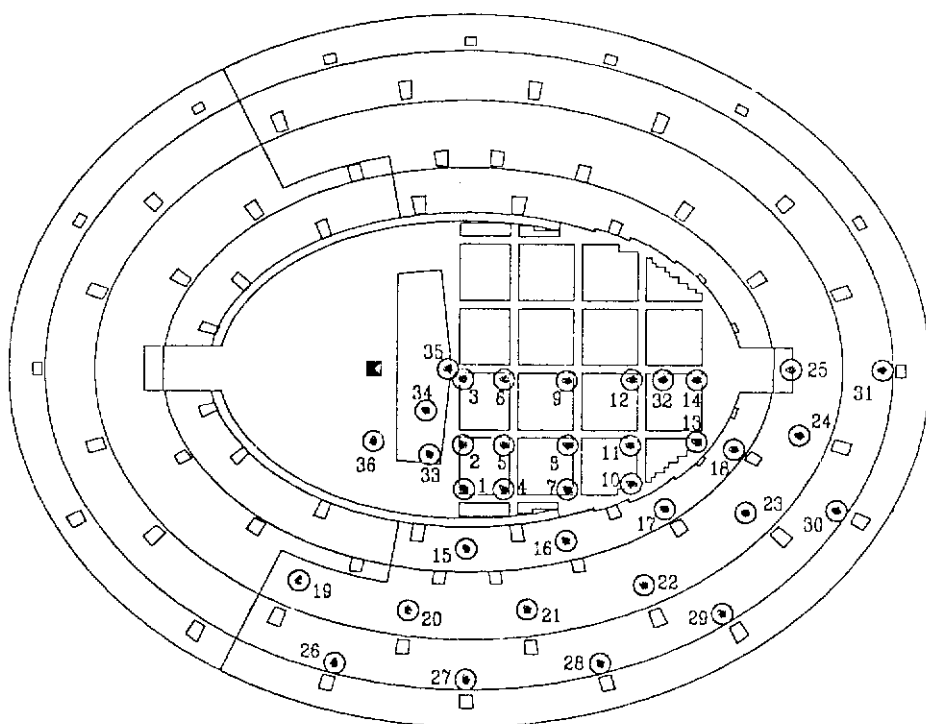


Fig. 2 - Disposizione dei punti di misura - senza pubblico.

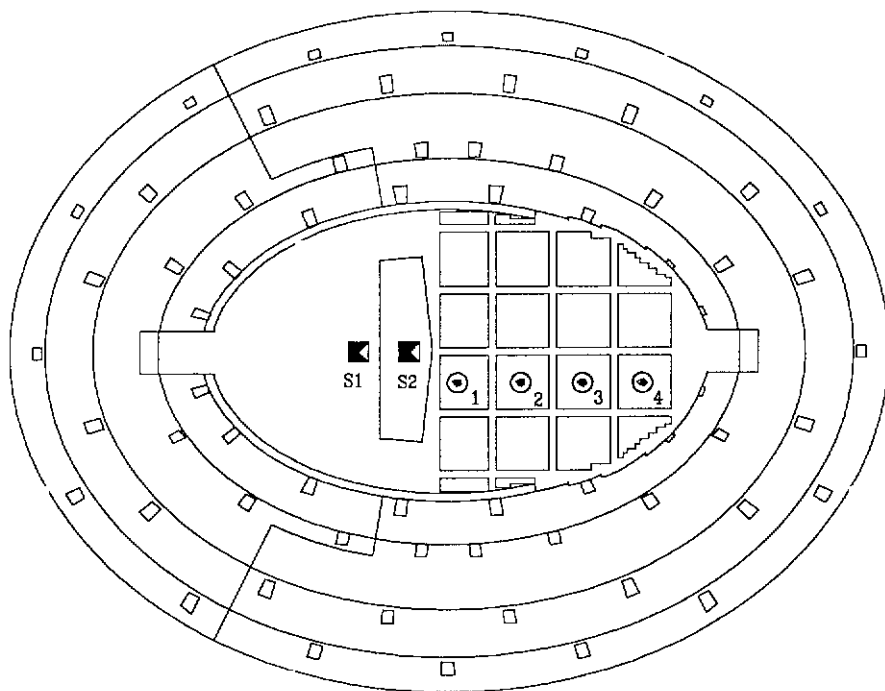


Fig. 3 - Disposizione dei punti di misura - confronto fossa/palcoscenico.

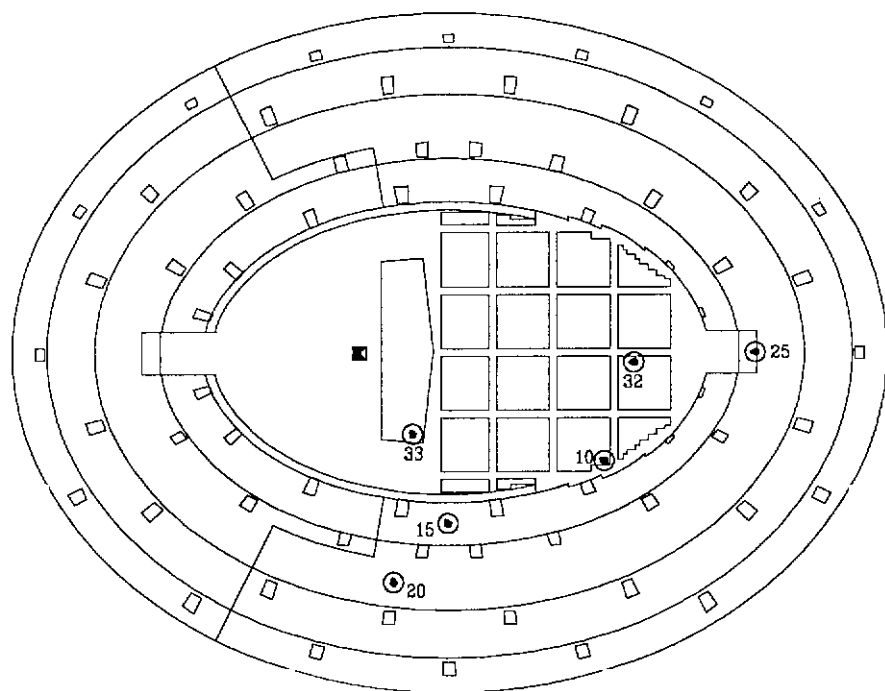


Fig. 4 - Disposizione dei punti di misura con pubblico.

Tutte le misure relative agli indici C_{80} , t_p , RASTI, IACC sono state eseguite con la sorgente collocata sul palcoscenico, a circa un metro dal pavimento ed in posizione centrale.

Le figure 5, 6, 7 rappresentano l'andamento dell'indice di chiarezza in platea e sulle gradinate. Le prime due figure riguardano rispettivamente l'orecchio destro e sinistro dell'ascoltatore, mentre la figura 7 rappresenta l'indice di chiarezza medio delle due orecchie. Si può osservare come nei primi due casi le mappe dell'indice di chiarezza non sono simmetriche rispetto al piano di mezzzeria dell'anfiteatro ma risultano invece speculari. Dall'analisi di tali curve é possibile intuire l'andamento delle riflessioni nella varie posizioni della platea e delle gradinate. Ad esempio, nel caso di figura 5, relativa alla mappa dell'orecchio destro, si notano valori elevati di C_{80} in quasi tutte le posizioni di misura di platea, con un "buco" nella zona di focalizzazione sull'asse di simmetria. Gli spettatori posti sul lato sinistro dell'anfiteatro risultano colpiti nell'orecchio destro da riflessioni ritardate provenienti dal semiciclo opposto che riducono quindi l'indice di chiarezza. Valori più elevati di C_{80} si trovano invece sul lato destro dell'anfiteatro, dove l'orecchio destro risulta investito dalle riflessioni che giungono dalle gradinate più vicine e quindi con tempi di ritardo brevi. La figura 7 mostra i valori medi dell'indice di chiarezza: si possono osservare valori elevati di C_{80} in platea e sulle gradinate di fronte al palcoscenico e valori sempre più bassi per le gradinate laterali via via più vicine al palcoscenico.

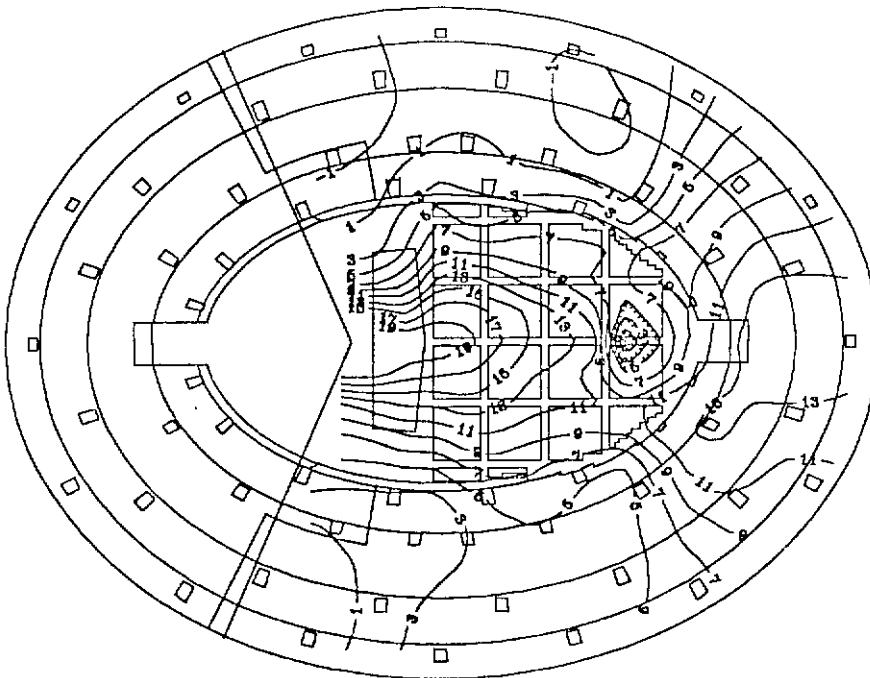


Fig. 5- Mappa dell'Indice di Chiarezza C_{80} - Orecchio SX

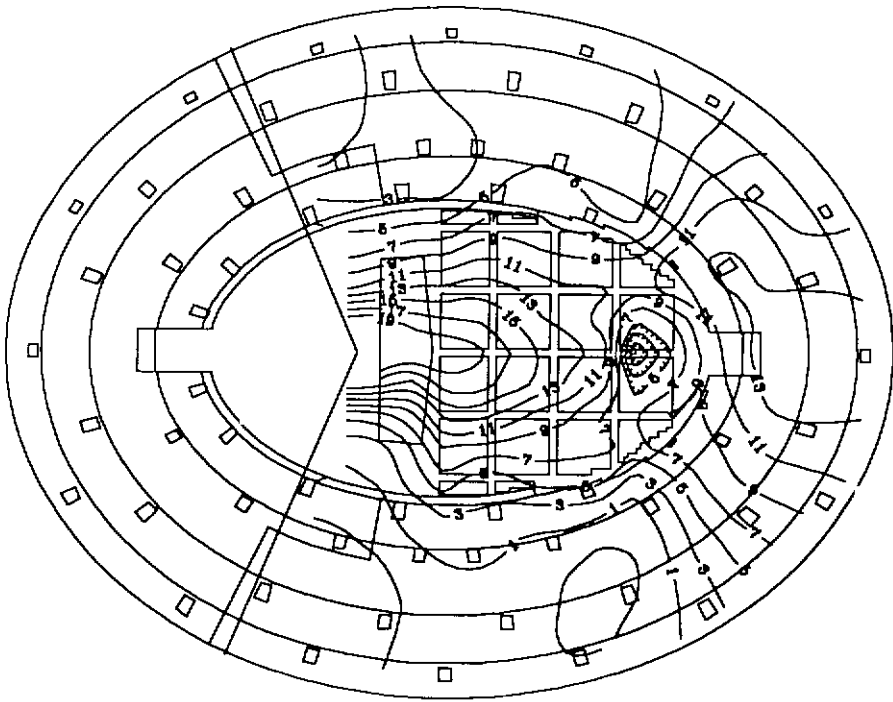


Fig. 6 - Mappa dell'indice di Chiarezza C80 - Orecchio DX

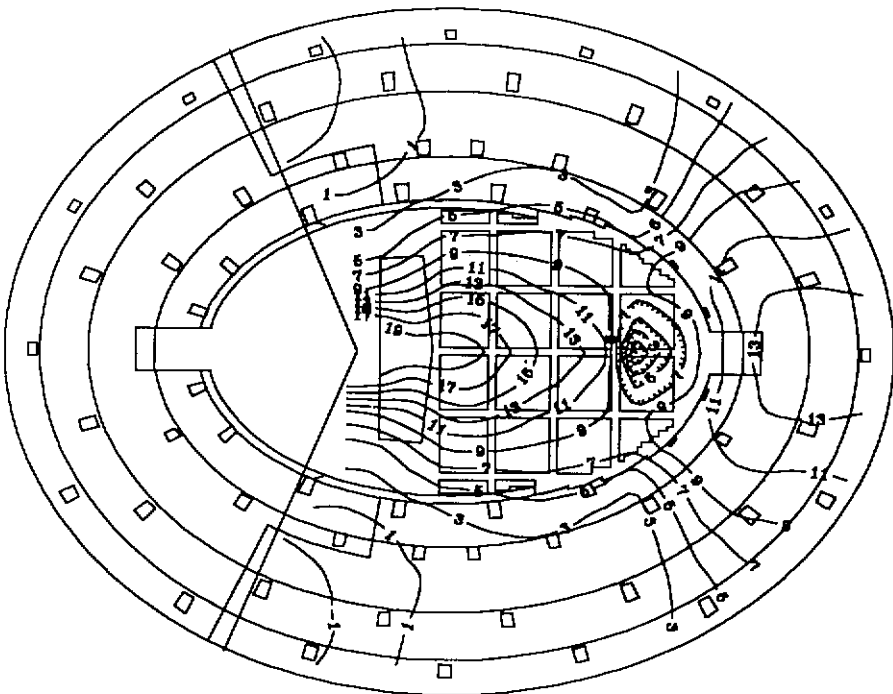


Fig. 7 - Mappa dell'Indice di Chiarezza Medio

Le misure con il pubblico hanno riguardato solo alcune posizioni della platea e delle gradinate: la figura 8 confronta i valori di C_{80} con e senza il pubblico. In generale si può osservare che la presenza del pubblico aumenta il valore di tale indice: particolarmente evidente è l'aumento di C_{80} nel punto di focalizzazione 32, dove la presenza del pubblico sulle gradinate ha ridotto notevolmente il fenomeno di concentrazione dell'energia sonora. E' importante comunque rilevare che i valori di questo parametro sono notevolmente superiori a quelli ritenuti ottimali per l'opera lirica.

Arena di Verona – Indice di Chiarezza

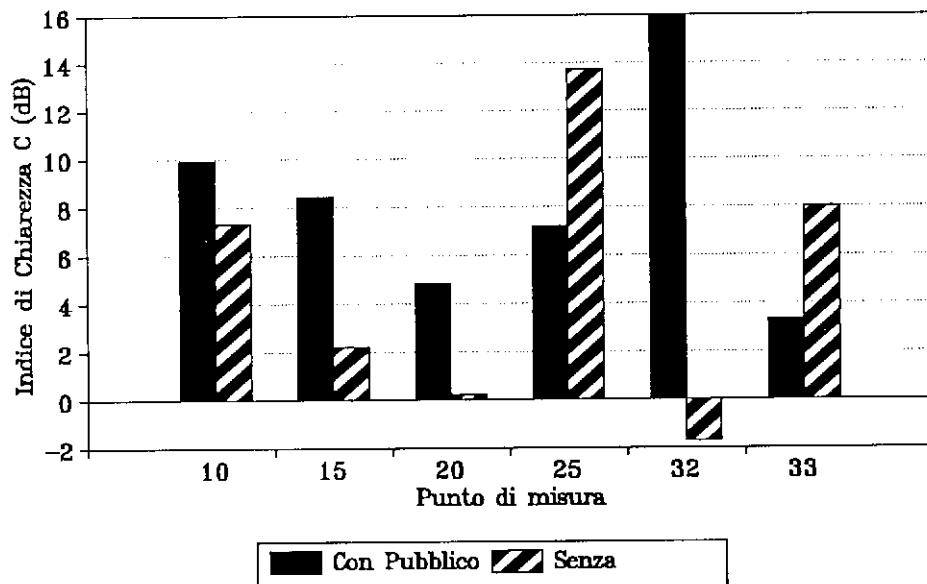


Fig. 8 - Confronto fra C_{80} con e senza pubblico

La figura 9 rappresenta l'andamento del valore del R.A.S.T.I in platea e sulle gradinate; la figura 10 confronta tale valore in alcune posizioni nei casi di anfiteatro con e senza pubblico. Le misure con il pubblico mostrano, in generale, un aumento dell'indice di intellegibilità.

La figura 11 rappresenta l'andamento dell' I.A.C.C. in platea e sulle gradinate. I valori sono in genere molto elevati evidenziando la mancanza di riflessioni acustiche utili nei primi 50 millisecondi. La presenza del pubblico riduce l'intensità dell'energia riflessa dalle gradinate e riduce contemporaneamente la sensazione stereofonica del campo acustico; i valori di questo indice tendono pertanto ad aumentare (figura 12).

La figura 13 rappresenta la distribuzione del livello di ascolto nell'anfiteatro. Si può osservare un andamento dei livelli simile a quello di campo libero, evidenziando con ciò la scarsa presenza di riflessioni significative. Tuttavia risulta palese la presenza di un forte punto di focalizzazione del campo acustico sull'asse dell'anfiteatro e verso il fondo della platea. Queste misure sono state eseguite solamente nel caso di anfiteatro senza pubblico.

Le misure condotte in platea con sorgente sul palcoscenico e nella buca d'orchestra hanno messo in evidenza che il campo acustico che esce dalla "buca" risulta più attenuato di quello proveniente dal palcoscenico e questo è tanto più vero quanto più ci si allontana da esso: tale fenomeno è più evidente nel campo delle frequenze medio alte 500-8000 Hz, come mostrato dalla figura 14. La spiegazione va ricercata nei complessi fenomeni di diffrazione (più forti alle alte frequenze) a cui è interessato il campo acustico proveniente dall'orchestra nell'attraversamento dello spigolo della buca e delle poltroncine della platea.

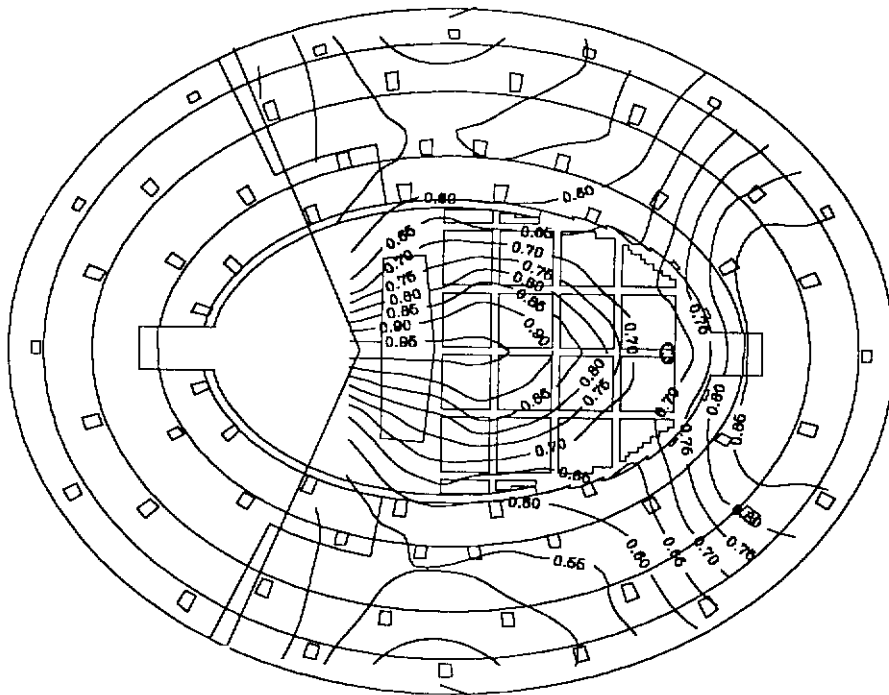


Fig. 9 - Mappa del RASTI

Arena di Verona – Indice RASTI

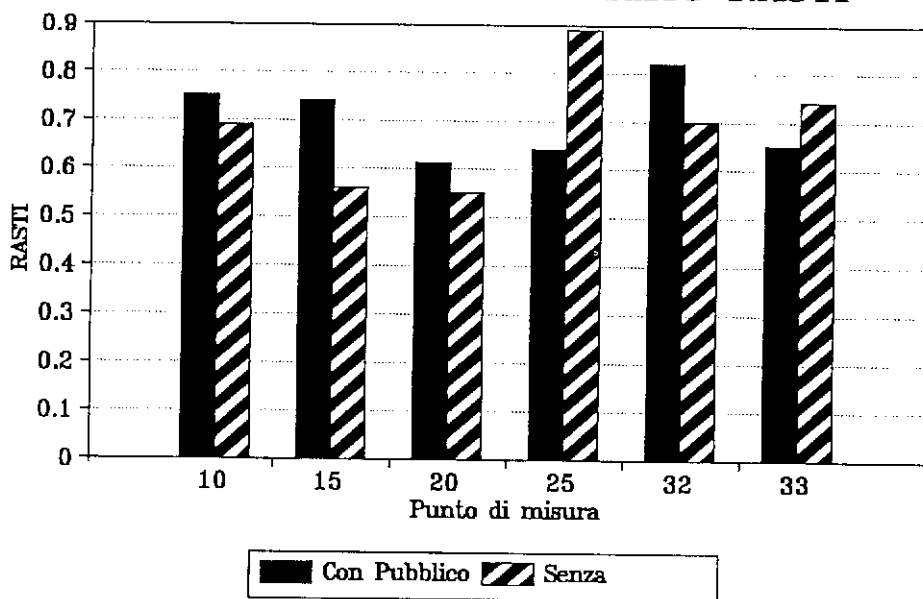


Fig. 10 - Confronto fra RASTI con e senza pubblico

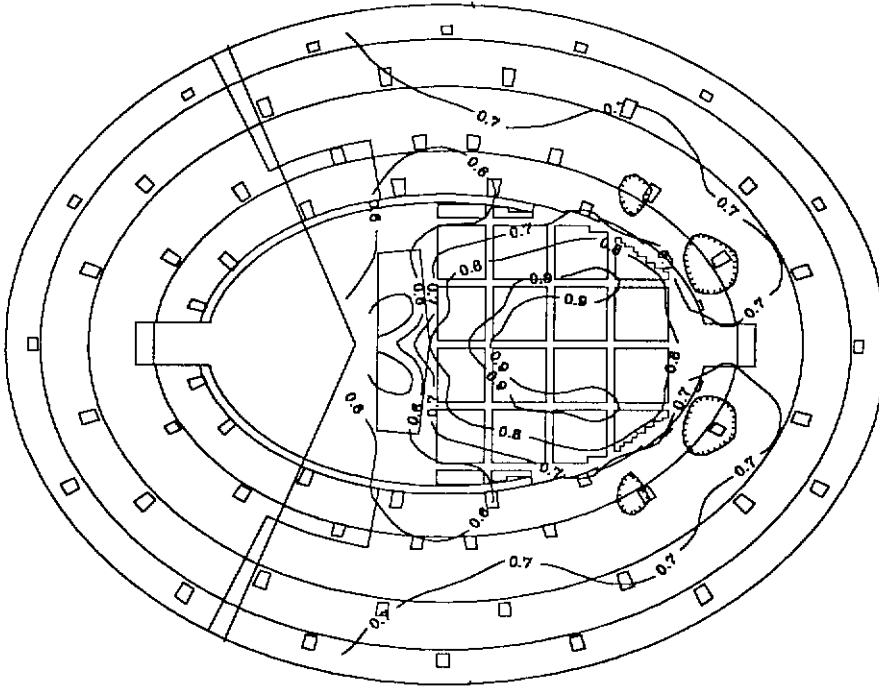


Fig. 11 - Mappa della Correlazione Interaurale (IACC)

Arena di Verona – I.A.C.C.

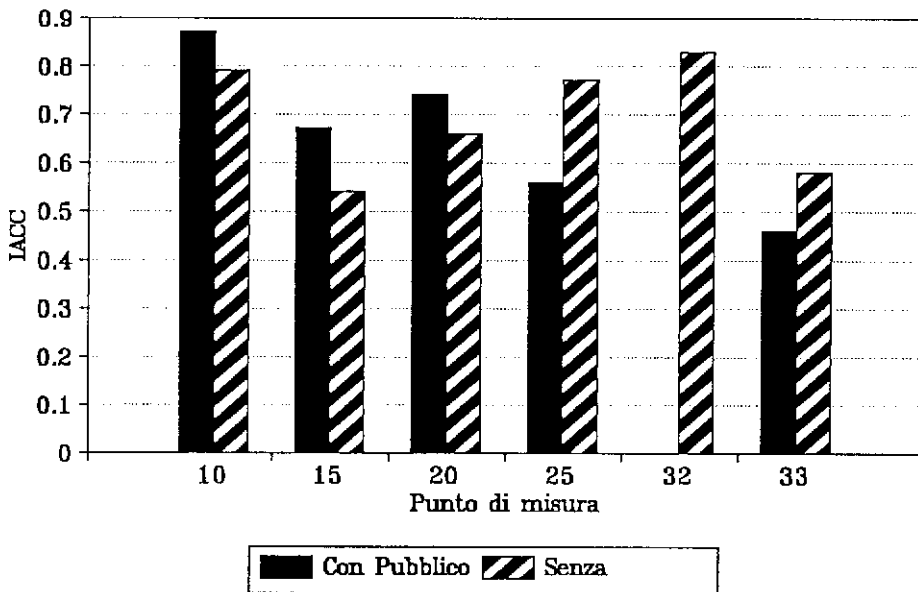


Fig. 12 - Confronto fra IACC con e senza pubblico

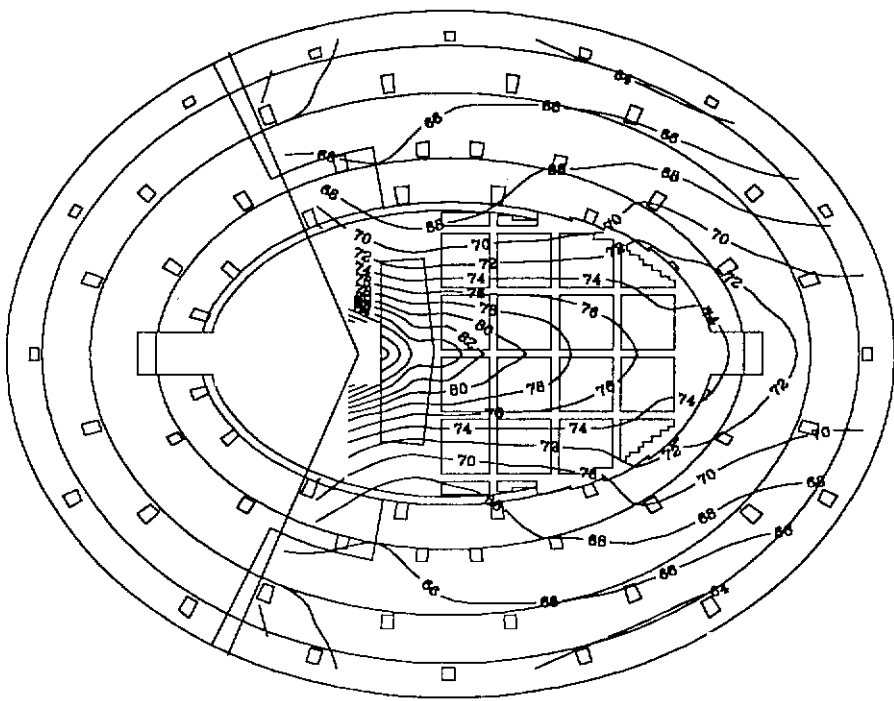


Fig. 13 - Mappa del Livello Sonoro in dB(A)

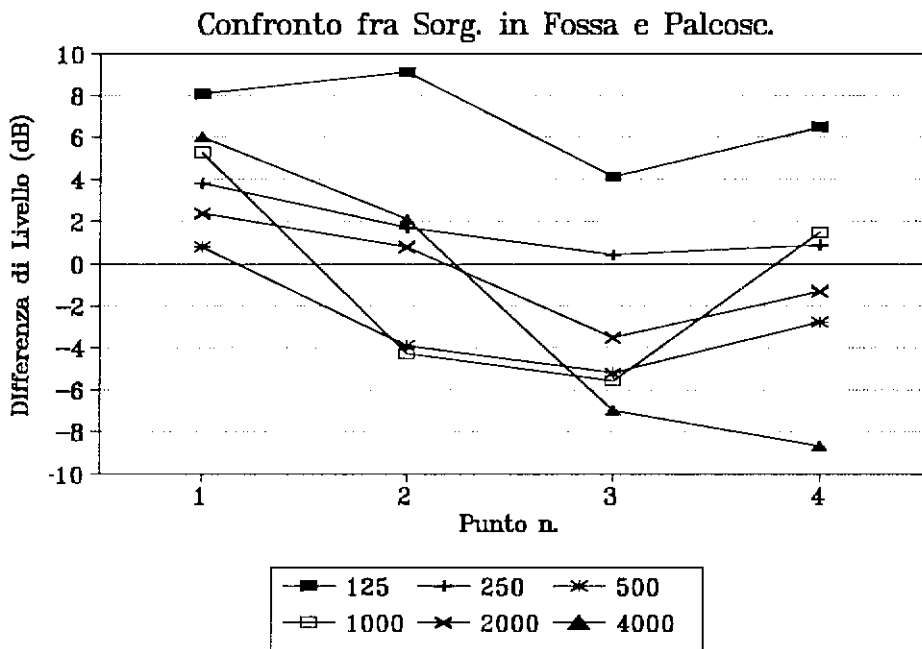


Fig. 14 - Differenza di Livello fra sorgente in fossa e sul palcoscenico

L'esame dei risultati sperimentali mette in evidenza un comportamento acustico tipico di un teatro all'aperto e di grandi dimensioni: prevalenza del campo diretto e scarsità di riflessioni laterali "utili" che arrivano con tempi di ritardo brevi (50-80 ms). Le posizioni che mostrano le migliori condizioni di ascolto sono quelle collocate sulle gradinate centrali ed immediatamente adiacenti; buone condizioni di ascolto sono risultate anche quelle poste nella parte centrale della platea. E' stato rilevato inoltre che la presenza del pubblico migliora, in genere, i parametri acustici e quindi le condizioni di ascolto, specialmente per quelle posizioni interessate da riflessioni provenienti dalle gradinate opposte che giungono con tempi di ritardo troppo elevati.

Per quanto riguarda il campo acustico proveniente dalla "buca d'orchestra" e dal palcoscenico, è stato rilevato uno sbilanciamento in livello ed in frequenza tra i due campi; in particolare è risultato evidente una forte attenuazione del campo acustico proveniente dalla "buca" specialmente alle medie ed alte frequenze (500-8000 Hz), imputabile a fenomeni di diffrazione prodotti dalla "buca" stessa e dal passaggio radente alla platea delle onde sonore. Il risultato è che nella platea il messaggio cantato "prevala" su quello musicale proveniente dall'orchestra che per di più viene percepito con distorsioni in frequenza.

Sempre in merito alla "buca d'orchestra" si è rilevato che la sua notevole ampiezza - circa 27 metri- può produrre uno sfasamento temporale del campo acustico diretto proveniente da settori d'orchestra collocati in posizioni diametralmente opposti. Per spettatori posti sulle gradinate di fianco al palcoscenico, il ritardo temporale può essere di circa 80 ms: tale valore è troppo vicino al limite massimo accettabile perché i due segnali non possano dare origine ad echi o, in ogni caso, ad una sensazione di mancanza di sincronismo tra le diverse parti dell'orchestra.

PROPOSTE PER PALCOSCENICO, BUCA D'ORCHESTRA E PLATEA

Le proposte progettuali che seguono sono il risultato di un esame integrato del sistema palcoscenico-buca d'orchestra - platea: nel seguito, solo per chiarezza espositiva, vengono trattati separatamente. La figura 15 mostra una sezione di tale sistema nella situazione attuale.

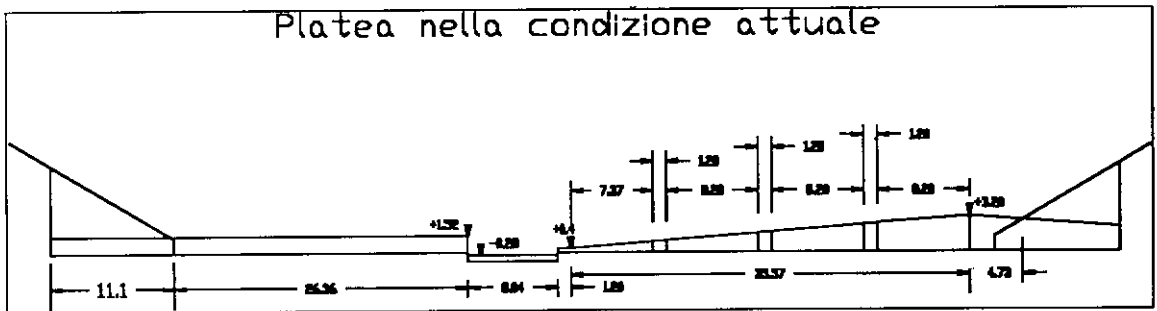


Fig. 15 - Sezione Longitudinale della platea attuale

La nuova sistemazione del palcoscenico non prevede alcuna variazione significativa della sua forma: l'altezza rispetto al piano del terreno rimane inalterata -1.5 m; la pianta risente solo della maggiore ampiezza della buca che rientra verso il palcoscenico di 2 m.

Al fine di introdurre sul palcoscenico superfici riflettenti che potrebbero risultare utili per rinforzare acusticamente il suono in alcune parti dell'anfiteatro, si propone di utilizzare parti delle scenografie che dovrebbero essere studiate in collaborazione con il regista e lo scenografo. Tali superfici dovranno essere realizzate in materiale riflettente, meglio se in legno di sufficiente pesantezza.

Buca d'orchestra

L'indicazione progettuale che si propone prevede una pianta più compatta: viene cioè allungata nel senso dell'asse maggiore dell'anfiteatro e ristretta nell'altra direzione. L'area complessiva della buca d'orchestra rimane tuttavia immutata: circa 230 m². La figura 16 confronta la pianta attuale con quella di progetto: si può osservare che l'aumento della lunghezza della "buca" è ottenuto per 2 m a spese del palcoscenico e per soli 0.60 m a spese della platea

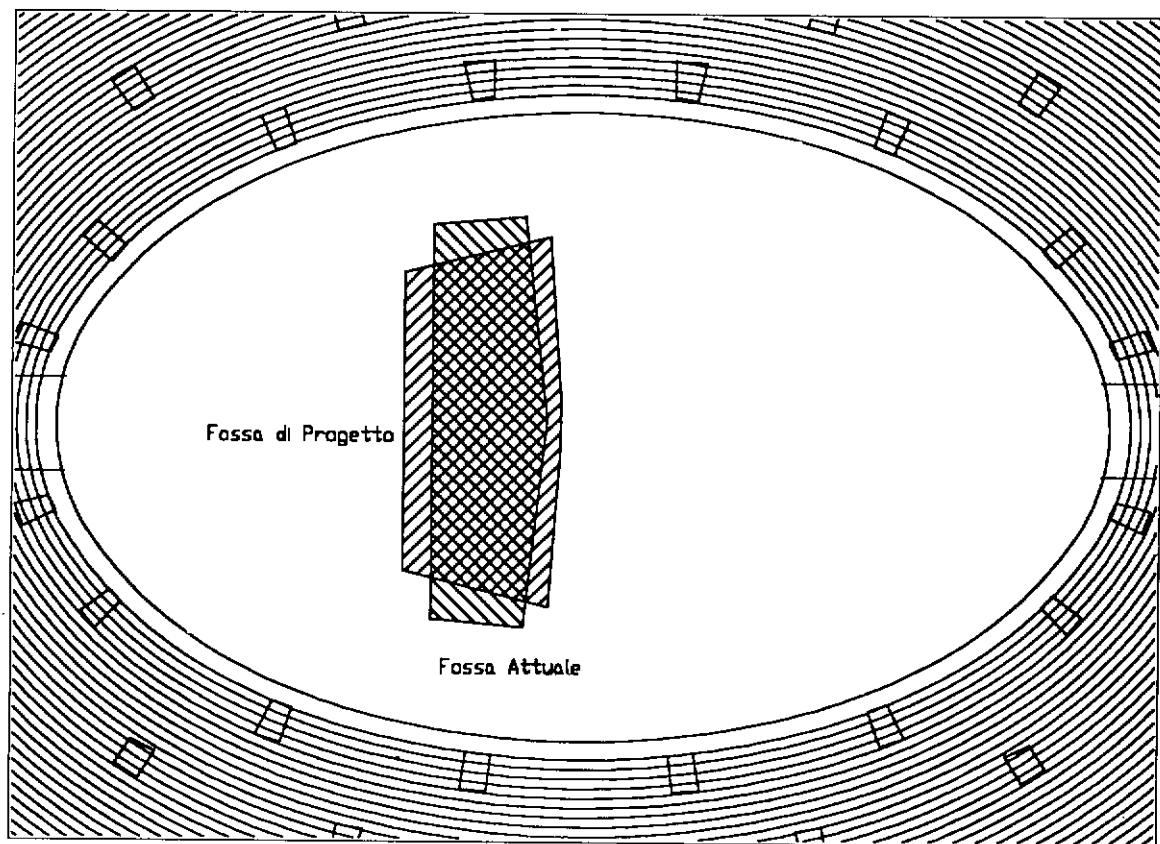


Fig. 16 - Confronto fra la fossa attuale e quella di progetto.

Questa nuova disposizione consente di realizzare una migliore integrazione tra le diverse sezioni dell'orchestra, che ora si trovano a minor distanza tra loro, ed una migliore percezione d'assieme dell'intera orchestra per gli spettatori posti lateralmente sulle gradinate. Inoltre permette al direttore un miglior controllo visivo delle diverse sezioni orchestrali.

Come si può osservare dalla figura 17, relativa alla nuova sistemazione della buca e della platea, il pavimento della buca verrebbe realizzato ad una profondità di 0.70 m invece degli attuali 0.28 m. L'orchestra troverà ora alle sue spalle una parete riflettente di maggiore altezza in grado di inviare riflessioni utili verso la platea. Tale parete dovrà essere realizzata in legno, per esempio abete, di spessore elevato: almeno 2-3 cm. Una attenta analisi delle riflessioni ha mostrato l'opportunità di mantenere verticale questa superficie.

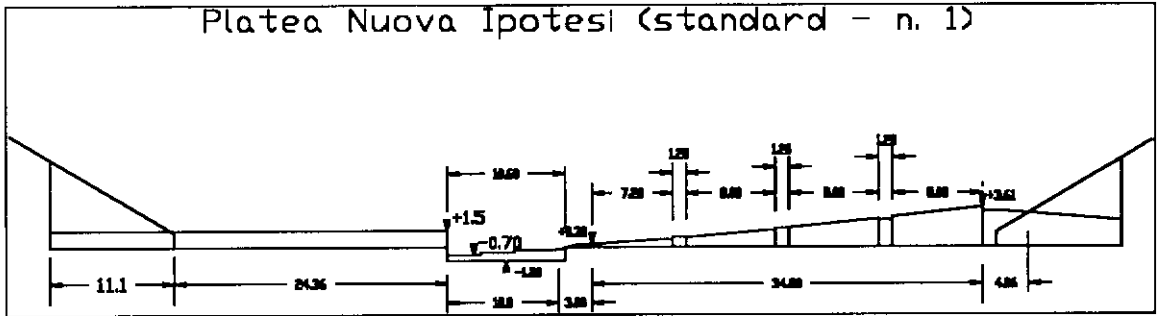


Fig. 17 - Sezione Longitudinale platea di progetto

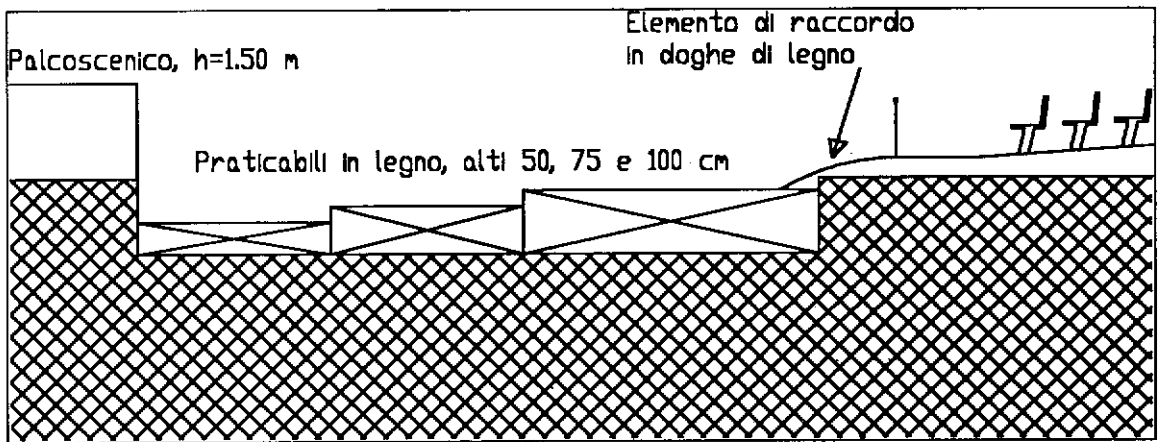


Fig. 18 - Particolare ingrandito della fossa di progetto

Anche le pareti laterali della "buca" sono ora più alte ed inclinate rispetto all'asse maggiore dell'anfiteatro in modo da favorire le riflessioni verso il pubblico: le superfici sono rese diffondenti mediante l'inserimento di opportuni diffusori acustici del tipo QRD (Quadratic Residual Diffusors) che consentono un rinvio dell'energia sonora praticamente in tutte le direzioni.

La parte di buca rivolta verso il pubblico è stata studiata avendo come scopo principale la riduzione del fenomeno di diffrazione che tende ad attenuare il campo acustico diretto in platea: a tale fine è stato eliminato lo spigolo vivo formato dalla parete della buca e dal piano di platea. Come si vede nella figura 18 il collegamento è ora ottenuto attraverso una superficie convessa, realizzata in doghe di legno e costituita da elementi autoportanti asportabili. Il

volume interno comunica con il sottoplatea assicurando così una migliore trasmissione sonora tra orchestra e platea: la "buca" comunica poi con il volume interno attraverso una serie di fessure. La superficie convessa di raccordo consente inoltre di inviare utili riflessioni verso il palcoscenico. Le prestazioni di questo sistema potranno essere verificate in opera ed eventualmente modificate inserendo al suo interno del materiale fonoassorbente.

La figura 18 mostra una proposta di disposizione di due "praticabili" appoggiati sul pavimento della buca: essa prevede tre altezze diverse, per altrettante sezioni di orchestra. La più alta, quella vicina alla platea, è destinata ad ospitare gli strumenti caratterizzati da bassa potenza acustica ed emissione nel campo delle medio-alte frequenze: gli "archi". Quella intermedia è dedicata ai "legni", strumenti di media potenza ed emissione nel campo delle frequenze medie. La zona più bassa è invece destinata agli "ottoni" ed agli strumenti a percussione, più potenti acusticamente.

Platea

Allo scopo di ridurre il notevole assorbimento acustico dovuto alla propagazione radente del suono sul pubblico e di migliorare le linee di visibilità tra platea e palcoscenico, si è proceduto a ridisegnare l'inclinazione del piano di platea, cercando tuttavia di mantenere l'attuale posizione delle poltrone per non perdere posti a sedere. La disposizione proposta risponde alle esigenze derivanti dalla necessità di allargare la "buca d'orchestra" e di ridurre il fenomeno di diffrazione ed assorbimento del suono che, provenendo dall'orchestra, giunge nelle ultime file della platea fortemente attenuato. Il progetto ha ovviamente tenuto conto delle altezze massime raggiungibili nelle ultime file della platea e delle condizioni imposte per una buona visibilità in tutte le posizioni occupate dal pubblico; inoltre si è anche cercato di non modificare eccessivamente le pendenze dei percorsi di accesso ai posti a sedere. Questo risultato è stato ottenuto differenziando nettamente la quota dei percorsi rispetto a quella dei gradini che sorreggono le poltrone: in tal modo l'accesso alle file avviene tramite un gradino ben definito che risulta sempre tutto in salita o in discesa rispetto al corridoio di passaggio, evitando il mezzo gradino della configurazione attuale.

Dalla figura 18 si può osservare come la prima fila risulti arretrata di 3.00 m dal bordo della "buca"; inoltre la distanza tra le file è stata portata da 0.82 a 0.80 m che è tuttavia nella norma: l'accessibilità risulta accettabile, tenuto conto che si tratta di poltroncine metalliche con imbottitura modesta, se non assente del tutto. In tal modo il numero delle file è rimasto immutato, così come il numero dei posti a sedere. L'altezza massima delle ultime file ha subito un aumento molto contenuto: 41 cm, da 3.20 m a 3.61 m. Tale aumento non pregiudica le linee di visibilità dei posti a sedere sistemati sulla prima gradinata.

Per quanto riguarda la pendenza da assegnare al piano di appoggio della platea, essa è stata determinata utilizzando il metodo di "uguale visibilità", secondo il quale si mantiene costante il sovrizzo delle linee di vista tra due file successive. Ciascuna linea di vista è ottenuta congiungendo l'occhio dello spettatore con la sorgente che in questo caso è stata idealmente posta sul piano del palcoscenico ad una distanza dal bordo della "buca" di 1.4 m. E' evidente che secondo tale metodo l'altezza dei gradini della platea non risulta costante.

CONCLUSIONI

L'anfiteatro romano "Arena di Verona" è indubbiamente uno spazio di grande suggestione per le imponenti scenografie che può ospitare, tuttavia, dal punto di vista acustico, presenta limitate prestazioni per la mancanza di riflessioni utili nei primi 80-100 ms e per la presenza di focalizzazioni ed echi, seppure attenuati quando le gradinate sono occupate dal pubblico. Il progetto della nuova sistemazione del palcoscenico, della buca d'orchestra e della platea tende a migliorare in particolare il bilanciamento del campo acustico tra cantanti, orchestra, direttore e pubblico. La nuova forma della "buca" e la realizzazione di pareti laterali diffondenti, dovrebbero rendere più omogeneo ed amalgamato il suono proveniente dall'orchestra e migliorarne la distribuzione verso il pubblico.