

PROGETTAZIONE ACUSTICA DI EDIFICI DESTINATI AD ATTIVITÀ SPORTIVE: IL PALALIDO ARMANIJEANS DI MILANO

Vincenzo Milanese (1), Lamberto Tronchin (1), Valerio Tarabusi (1)

1) DIN – CIARM, Università di Bologna

1. Introduzione

Nello studio della qualità acustica degli ambienti chiusi, normalmente l'attenzione è riposta in luoghi con destinazione d'uso a teatro, auditorium o concert halls. Tuttavia, esistono numerosissimi ambienti di grandi dimensioni che normalmente vengono utilizzati per attività sportive e che molto frequentemente ospitano anche attività musicali o simili. Per questi ambienti particolari, esistono rari esempi di studio della qualità acustica, seppure essa rappresenti una componente molto importante.

Nel lavoro qui presentato verrà studiata la qualità acustica del progetto architettonico del nuovo Palalido di Milano e la formulazione di due proposte progettuali per un eventuale miglioramento acustico. L'analisi di questo progetto parte dallo studio del progetto architettonico, dal quale è stato ottenuto un modello virtuale idoneo per le successive analisi. Sulla base del modello ottenuto, sono state formulate alcune ipotesi di miglioramento acustico, che verranno descritte di seguito assieme ai principali risultati ottenuti.

2. Il Palalido di Milano

Il Palalido di Milano è un palazzetto dello Sport realizzato negli anni 50 ed è stato per lungo tempo la casa dello sport milanese. Allo stato attuale, l'impianto dimostra tutta la sua vetustà anche nell'impianto planimetrico distributivo, che non risponde ai moderni canoni di utilizzo. L'amministrazione, pertanto, ha deciso di procedere ad un intervento di riqualificazione complessiva del palazzetto, al fine di renderlo conforme ai nuovi parametri normativi e alle nuove esigenze tecnico-sportive.

Le tribune, sono scandite da due ordini di gradinate, come si può vedere in Fig. 1:

- il catino preesistente, che verrà ridotto, dovendo necessariamente allargare l'area di gioco prevista per le competizioni internazionali;
- l'anello superiore di nuova realizzazione.

La capienza massima complessiva è di 5.347 spettatori. Il palazzetto si articola su cinque livelli principali:

- la cavea posta a quota -3,15;
- il livello 1 coincidente con il solaio a quota +1,02;

- il livello 2 coincidente con il corsello di distribuzione della gradinata superiore a quota +3,67;
- il livello 3 coincidente con il solaio sotto tribuna a quota +4,17;
- il livello 4 coincidente con il corsello di distribuzione a quota +9,17.

Il piano seminterrato coincidente con il livello del campo di gioco -3,15 è destinato agli spogliatoi agonistici, alle palestre di muscolazione, all'infermeria, al locale antidoping ed ai locali accessori (depositi e locali tecnici).



Figura 1 – Vista interna del nuovo Palalido (RENDER)

3. Analisi della qualità acustica

Utilizzando il modello virtuale e i parametri che il simulatore ha fornito, si è valutata la qualità acustica dello spazio interno del nuovo Palalido. Come prima operazione si è valutato lo “stato attuale”, e attraverso i risultati ottenuti si sono ipotizzate due proposte di implementazione:

1. modificare il tipo di alcuni materiali;
2. inserire teli fono assorbenti, già previsti nel progetto architettonico.

Il software utilizzato (Ramsete) fornisce una banca dati di materiali comuni con i rispettivi valori di assorbimento. Essendo un database implementabile, si sono aggiunti all'elenco i layer che sono stati utilizzati nel progetto, con i coefficienti di assorbimento e diffusione ritenuti adatti ai materiali.

Tabella 1 – Valori del coefficiente di assorbimento acustico ipotizzati

n°	nome layer	α 31.5Hz	α 63Hz	α 125Hz	α 250Hz	α 500Hz	α 1kHz	α 2kHz	α 4kHz	α 8kHz	α 16kHz
0	ALLUMINIO_ CONDIZIONAMENTO	0.020	0.030	0.030	0.035	0.035	0.030	0.025	0.020	0.020	0.010
1	AMPLIFICAZIONE	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
2	C.A._GRA-DINATE_ SOLAI_PARAPETTI	0.050	0.050	0.050	0.050	0.055	0.060	0.060	0.065	0.065	0.070
3	C.A._PILASTRI_ TRAVI	0.050	0.050	0.050	0.050	0.055	0.060	0.060	0.065	0.065	0.070

4	LAMIERA_COPE RTURA	0.030	0.040	0.040	0.045	0.045	0.040	0.035	0.030	0.030	0.020
5	LEGNO_CAMPO_da_ GIOCO	0.030	0.045	0.045	0.050	0.06	0.070	0.080	0.085	0.095	0.150
6	LEGNO_PANNELLI	0.030	0.040	0.060	0.090	0.100	0.100	0.190	0.240	0.300	0.350
7	VETRO_TEMPRATO_ PARAPETTI	0.020	0.035	0.035	0.045	0.045	0.045	0.035	0.030	0.035	0.040
8	VETRO_VETRATE	0.030	0.040	0.060	0.050	0.040	0.055	0.025	0.025	0.025	0.025
9	VETRORESINA_ SEDUTA	0.090	0.100	0.150	0.110	0.090	0.085	0.040	0.040	0.060	0.060
10	VETRORESINA_ SCHIENALE	0.090	0.100	0.150	0.110	0.090	0.085	0.040	0.040	0.06	0.060

Sono state posizionate quattro sorgenti omnidirezionali (in Fig. 2 e 3 sono rappresentati dalle lettere A B C D, e dai corrispettivi punti color rosso) in corrispondenza dei quattro angoli del campo di gioco ad una altezza di 15 m. La scelta di questo tipo di diffusore deriva dal fatto che non è presente nel progetto architettonico nessuna informazione sul materiale che verrà installato. Si è pensato quindi di utilizzare una sorgente che simuli una soluzione generale di diffusione sonora nell'ambiente.

Successivamente, sono stati disposti i ricevitori nel modello numerico (in Fig. 2 e 3 sono rappresentati dai punti color giallo).

I ricevitori sono stati inseriti con una geometria la più regolare possibile, così da lasciare poco spazio tra i due diversi ricevitori, e diminuire l'incertezza dovuta alla interpolazione.

A tal proposito, sono state adottate tre ipotesi:

- la distanza tra 2 ricevitori ad una stessa quota deve essere 1 m;
- il dislivello massimo tra due quote non deve superare i 2 m;
- ogni ricevitore nelle gradinate è posizionato a 50 cm dalla quota delle sedute, mentre a 1.70 m lungo i corridoi e nel campo da gioco.

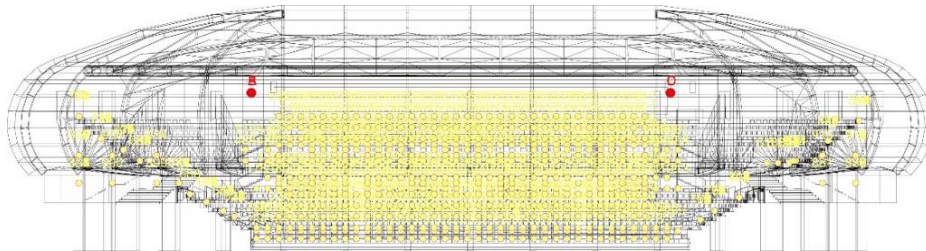


Figura 2 – Vista 2D del piano YZ (Ramsete View)

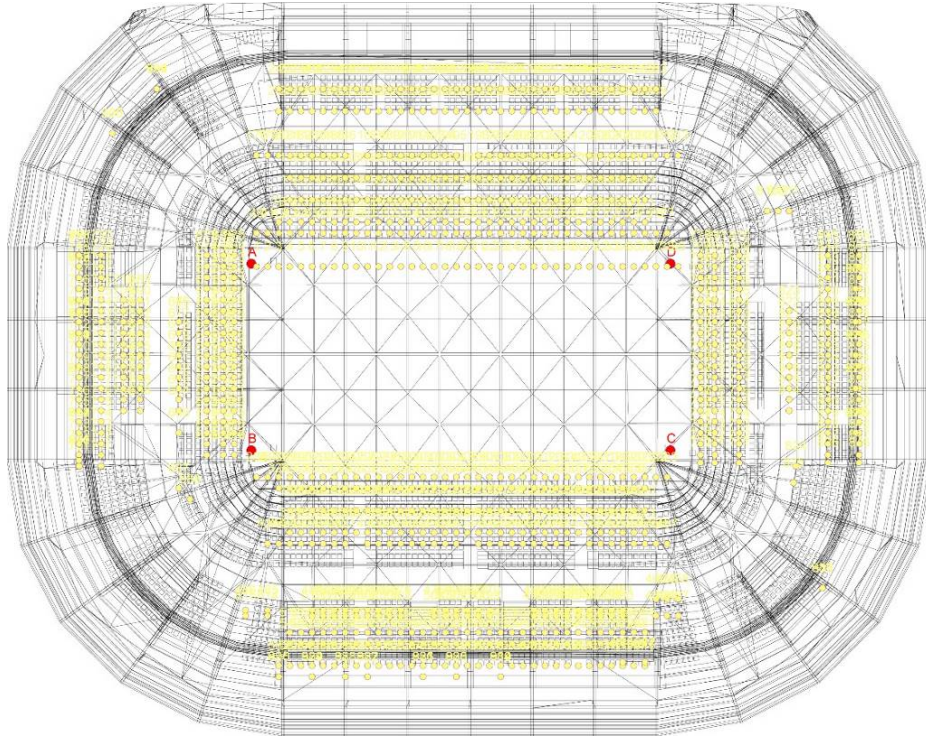


Figura 3 – Vista 2D del piano XY (Ramsete View)

4. Simulazioni dello stato attuale

Al termine della simulazione sono stati considerati di seguito i seguenti parametri acustici: EDT, T20, T30, C50, D50 e STI/RASTI. Dei valori dei parametri indicati vengono riportati qui di seguito il valore medio dei 935 ricevitori per ogni banda di ottava:

Tabella 2 – Valori medi per ogni banda di ottava

	α 31.5Hz	α 63Hz	α 125Hz	α 250Hz	α 500Hz	α 1kHz	α 2kHz	α 4kHz	α 8kHz	α 16kHz	Lin	A
EDT	13.2	11.7	10.2	10	9.7	9.2	8.8	6.7	3.5	1.6	10.2	8.3
T20	10.0	9.4	8.6	8.5	8.3	8.1	7.8	6.6	4.1	1.5	9.2	7.9
T30	4.0	8.5	8.0	7.9	7.8	7.6	7.4	6.3	4.0	1.5	8.5	7.5
C50	-11.3	-10.6	-9.9	-9.9	-9.7	-9.5	-9.4	-8.3	-5.9	-1.2	-9.4	-8.7
D50	6.9	8.0	9.2	9.3	9.6	10.1	10.4	12.8	20.4	43.2	10.3	11.8
STI/ RASTI	-	-	0.3	0.31	0.31	0.32	0.33	0.37	0.47	-	0.33	0.35

Osservando la tabella è necessario evidenziare che il valore dei parametri non è accettabile. Considerando il “T30” come riferimento di qualità del tempo di riverberazione della sala, si nota che, nelle frequenze medie (1000 Hz – 4000 Hz), il segnale ha un valore medio maggiore di 7 secondi, e si mantiene maggiore dei 4 secondi anche sulle altre frequenze.

5. Proposta di modifica “n°1”

La prima proposta prevedeva dunque la modifica di alcuni materiali all’interno del palazzetto senza alterare le direttive ipotizzate nel progetto architettonico, escludendo, però, i teli acustici presenti originariamente. Tale scelta è stata presa per rendere visibile la struttura “MERO” che sostiene la copertura. Essa infatti, oltre che rispondere a una funzione strutturale, ricopre un ruolo interessante a livello architettonico.

Nella Tab.3 sono riportati i valori medi di assorbimento del materiale, per banda di ottava, sono stati modificati.

Per quanto riguarda gli altri materiali presenti nello stadio si fa riferimento alla Tab. 1.

Tabella 3 – Valori del coefficiente di assorbimento acustico ipotizzati

n°	nome layer	α 31.5Hz	α 63Hz	α 125Hz	α 250Hz	α 500Hz	α 1kHz	α 2kHz	α 4kHz	α 8kHz	α 16kHz
[...]											
6	LEGNO_PANNELLI	0.010	0.020	0.300	0.600	0.750	0.750	0.700	0.400	0.350	0.300
[...]											

Anche in questo caso sono stati presi in considerazione i medesimi 6 parametri (EDT, T20, T30, C50, D50 e STI/RASTI) per valutare la qualità acustica. Di seguito il valore medio dei 935 ricevitori per ogni banda di ottava:

Tabella 4 – Valori medi per ogni banda di ottava

	α 31.5Hz	α 63Hz	α 125Hz	α 250Hz	α 500Hz	α 1kHz	α 2kHz	α 4kHz	α 8kHz	α 16kHz	Lin	A
EDT	12.5	10.0	6.7	5.9	5.7	5.7	6.1	5.9	3.5	1.6	8	5.7
T20	9.7	8.5	6.6	6.1	6.0	6.0	6.3	6.1	4.0	1.5	8.7	6.1
T30	8.7	7.9	6.2	5.8	5.7	5.7	5.9	5.8	4.0	1.5	8.3	5.8
C50	-10.9	-9.8	-8.2	-7.8	-7.7	-7.7	-7.9	-7.9	-5.8	-1.3	-8.2	-7.5
D50	7.5	9.5	13.1	14.3	14.7	14.6	14.0	14.1	20.7	42.8	13.1	15.2
STI/ RASTI	-	-	0.37	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.47	-	0.39	0.4

Dalla tabella risulta che il valore dei parametri è accettabile. Considerando sempre il “T30” come riferimento di qualità acustica della sala, nelle frequenze medie (1000 Hz – 4000 Hz), ci si accorge che quasi tutte le frequenze abbassano il loro tempo di riverberazione di circa 2 secondi. Questo risultato dimostra che le modifiche effettuate hanno apportato migliorie a livello di qualità acustica.

Il risultato espresso da questi valori può essere accettato come una possibile soluzione per miglioramento della qualità audio interna ma, il livello ottenuto non è paragonabile a quello ideale per uno spazio chiuso. Nonostante questo si può affermare che considerando la tipologia di spazio analizzato l’implementazione ottenuta rappresenta già un buon risultato.

6. Proposta di modifica “n°2”

La seconda proposta avanzata è stata quella di sfruttare la soluzione pensata dai progettisti, consistente nell’inserimento di tendaggi-pannelli agganciati alla struttura

“MERO”. In questo modo si ha la possibilità di mantenere quasi del tutto inalterati i materiali previsti dal progetto architettonico, andando ad inserire solo degli elementi molto assorbenti all'interno del palazzetto.

La tipologia dei materiali fono-assorbenti dei tendaggi non è stata progettata su un modello commerciale di riferimento, a causa della vastissima gamma di soluzioni progettuali che si possono adottare. Queste divisioni sono state ideate per una possibile personalizzazione del tendaggio ad uso puramente estetico o pubblicitario, come si può vedere in Fig. 4 e 5. La proposta progettuale di questo lavoro prevede l'utilizzo di tre tendaggi/pannelli con caratteristiche fono assorbenti differenti. Tali materiali sono rappresentati nel modello numerico mediante tre layer distinti:

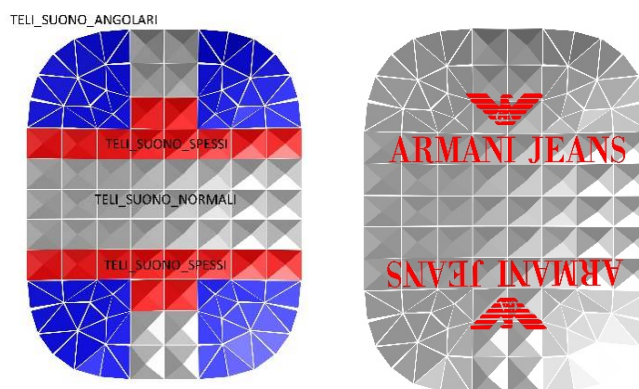


Figura 4 – Proposta di suddivisione dei tendaggi fonoassorbenti

Nella tabella qui riportata (Tab.5) sono rappresentati i valori medi di assorbimento, per banda di ottava, dei tre materiali che è stato ipotizzato di inserire. Si noti che i pannelli precedentemente modificati non sono cambiati.

Per quanto riguarda gli altri materiali presenti nello stadio si fa sempre riferimento alla Tab. 1.

Tabella 5 – Valori del coefficiente di assorbimento acustico ipotizzati

n°	nome layer	α 31.5Hz	α 63Hz	α 125Hz	α 250Hz	α 500Hz	α 1kHz	α 2kHz	α 4kHz	α 8kHz	α 16kHz
[...]											
6	LEGNO_PANNELLI	0.010	0.020	0.300	0.600	0.750	0.750	0.700	0.400	0.350	0.300
7	TELI_SUONO_ANGOLARI	0.020	0.040	0.060	0.080	0.150	0.200	0.400	0.600	0.650	0.500
8	TELI_SUONO_NORMALI	0.200	0.040	0.100	0.110	0.170	0.350	0.500	0.600	0.750	0.600
9	TELI_SUONO_SPESSI	0.050	0.100	0.120	0.140	0.450	0.660	0.880	0.970	0.800	0.960
[...]											

Viene riportato di seguito il valore medio dei 935 ricevitori per ogni banda di ottava:

Tabella 6 – Valori medi per ogni banda di ottava

	α 31.5Hz	α 63Hz	α 125Hz	α 250Hz	α 500Hz	α 1kHz	α 2kHz	α 4kHz	α 8kHz	α 16kHz	Lin	A
EDT	12.2	10.1	8.3	7.9	5.7	4.4	3.3	2.7	2.0	1.3	9.0	4.2
T20	9.3	8.3	7.3	7.0	5.7	4.9	3.9	3.3	2.3	1.2	8.7	5.6
T30	8.4	7.7	6.9	6.6	5.5	4.7	3.9	3.3	2.3	1.2	8.2	5.7
C50	-10.4	-9.3	-8.3	-8.1	-6.4	-5.1	-3.6	-2.6	-0.8	2.3	-7.1	-4.2
D50	8.4	10.6	12.9	13.5	18.7	23.6	30.4	35.3	45.5	62.7	16.3	27.8
STI/ RASTI	-	-	0.35	0.36	0.41	0.46	0.5	0.54	0.61	-	0.48	0.47



Figura 5 – Vista interna del nuovo Palalido (RENDER)

Dall'osservazione dei valori medi ottenuti dalla simulazione è evidente un miglioramento nella qualità acustica rispetto alla proposta "n°1" e soprattutto a quella dello stato di fatto. Tale affermazione può essere visibile in tutti i valori che si sono riportati nella Tab. 6. L'implemento è quantificabile nell'ordine dei 2 secondi rispetto alla proposta precedente. Si può inoltre osservare che le bande di ottave che migliorano sono quelle rispettive alle bande con una migliore proprietà fonoassorbente dei tendaggi.

7. Conclusioni

I risultati ottenuti da questa analisi hanno evidenziato la mancanza di una completa progettazione acustica, e la necessità di aumentare la capacità fonoassorbente del palazzetto. Si può concludere che il progetto architettonico del Palalido non raggiunge gli standard qualitativi previsti per un ambiente chiuso. Da questa considerazione è stato deciso di proporre due alternative progettuali.

La prima alternativa consiste nella sostituzione di alcuni materiali previsti dal progetto, con materiali con un alto rendimento acustico, la seconda si basa sull'ulteriore aggiunta di un tendaggio all'interno della travatura secondaria.

Lo studio progettuale e la successiva simulazione delle due proposte ha evidenziato un miglioramento degli standard audio del nuovo Palalido. In entrambi i progetti si raggiunge una buona qualità nei valori considerati.

Da i dati che sono stati analizzati, emerge che l'ambiente non ha raggiunto i valori ideali, tale risultato però può essere assunto non del tutto negativo. Lo spazio da noi studiato non è infatti paragonabile ad un teatro o a un cinema, e i suoi valori ideali per una buona qualità acustica saranno necessariamente più alti.

In conclusione si può aggiungere che l'analisi sottolinea come ogni spazio anche particolare, come quello analizzato può essere valorizzato mediante uno studio acustico come quello presentato.

8. Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano il dott. Giorgio Guidotti per l'aiuto fornito durante l'elaborazione del modello numerico.

9. Bibliografia

- [1] L. Tronchin, "Acoustical design of diffusing panels in the Theatre Vittorio Emanuele, Messina, Italy" Proc. of RADS, Room Acoustics: Design and Science, Awaji, Japan, 2004
- [2] L. Tronchin, V. Tarabusi, "Acoustical properties of stage and orchestra pit of the S. Carlos Theatre in Lisbon", Proc. of 12th International Congress on Sound and Vibration (ICSV), Lisbon, 2005
- [3] A. Cocchi, M. Garai, L. Tronchin, "Influenza di cavità risonanti poste sotto la fossa orchestrale: il caso del teatro Alighieri di Ravenna", in "Teatri storici – dal restauro allo spettacolo", Nardini ed., Fiesole (FI), 1997
- [4] L. Tronchin, A. Farina, M. Pontillo, V. Tarabusi, "The calculation of the impulse response in the binaural technique", Proc. of 7th International Congress on Sound and Vibration (ICSV), Garmisch, Germany, 2000
- [5] T. Hidaka, L. Beranek, "Objective and subjective evaluations of twenty-three opera houses in Europe, Japan, and the Americas" J. Acoust. Soc. Am. Volume 107(1), pp. 368-383 (2000)
- [6] A. Farina, L. Tronchin, "Measurements and reproduction of spatial sound characteristics of auditoria", Acoustical Science and Technology, 26(2), pp. 193-99, 2005
- [7] A. Farina, L. Tronchin, "3D Sound characterisation in theatres employing microphone arrays", Acustica united with Acta Acustica, 2012
- [8] L. Tronchin, A. Farina, "Acoustics of the former Teatro la Fenice in Venice" Journal of the Audio Engineering Society, pp. 1051-62, 45(12), 1997
- [9] L. Tronchin: La progettazione acustica e le applicazioni virtuali e multimediali: l'auditorium del Conservatorio di Parma, Atti del 28 Congresso Nazionale AIA Trani, 2000
- [10] L. Tronchin, A. Monopoli, V. Tarabusi, A 3D Sound Effects Reconstruction in the 'Sala della Chitarra', Italy, Proceedings of Forum Acusticum 2011, Ålborg, Danish Acoustical Society - DAS, 2011, pp. 2263 – 2267
- [11] L. Tronchin, F. Musso, La Progettazione Acustica del "Teatro Eschilo" di Gela (CL), Atti del 37 Congresso Nazionale AIA, Siracusa, 2010