



Bonifica acustica/2

Progettazione e verifica per risanare

di Giuseppe Starace, Professore aggregato di Fisica Tecnica, Sergio Scardia, Docente a contratto di Fisica Tecnica Ambientale e Lorenzo De Pascalis, Dottorando di ricerca in Sistemi Energetici e Ambiente - dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione, Università del Salento

Dopo una prima descrizione delle metodologie di caratterizzazione acustica di potenza e direttività di un telaio mediante tecnica intensimetrica, è qui analizzato il metodo seguito per la progettazione di un intervento di bonifica acustica basato su rilevazioni di natura intensimetrica in situ e su simulazioni numeriche. Si tratta di risultanze di un caso reale di studio volto al risanamento acustico di un capannone industriale adibito alla tessitura di reti in polietilene.

Con tecnica intensimetrica sono stati rilevati il livello di potenza sonora e la direttività di un telaio di produzione (più telai sono presenti nel sito industriale, ma tutti sono di modello simile, differiscono l'uno dall'altro solo per l'altezza del tessuto prodotto e non per le modalità di funzionamento e sono installati in condizioni di esercizio pressoché identiche) di proprietà di un'azienda tessile pugliese.

I risultati della campagna sperimentale sono stati utilizzati per caratterizzare le sorgenti sonore all'interno del modello *software* del capannone industriale che li conteneva.

Il software di simulazione, basato sulla tecnica del ray-tracing era in grado di calcolare i valori del livello di pressione sonora in tutto il campo acustico. Una campagna fonometrica ha poi validato con successo i risultati del calcolo con i valori rilevati mediante un'indagine fonometrica. La prima rilevazione del clima acustico ha evidenziato la necessità di adottare soluzioni idonee a rientrare nei limiti normativi del nuovo livello giornaliero di esposizione al rumore dei lavoratori presenti all'interno del capannone industriale. Il modello numerico ha, poi, consentito la progettazione e la successiva realizzazione di una soluzione tecnica per la bonifica, anche nella considerazione dello stato dei luoghi e delle esigenze produttive. Essa è consistita nell'installazione di assorbitori covibranti di gesso su alcuni muri di tamponamento esterni.

Un'ulteriore rilevazione fonometrica a compimento dei lavori di bonifica ha confermato l'efficacia delle simulazioni effettuate e il rientro del livello di esposizione al rumore nei termini di legge.

È stata valutata, in seguito, sempre con lo stesso *software*, un'integrazione degli assorbitori covibranti di gesso con lastre fonoassorbenti in materiale fibroso del tipo bugnato da porsi in opera sul soffitto. La successiva simulazione numerica ha quantificato l'ulteriore riduzione dei livelli sonori.

A seguito di una valutazione dell'esposizione al rumore dei lavoratori, redatta ai sensi del Dlgs. n. 81/2008 (si veda il *riquadro 1*), un'azienda tessile pugliese (produzione di reti in polietilene con 18 telai piani) aveva evidenziato la necessità di interventi di abbattimento del rumore all'interno di un suo capannone.

Gli interventi miravano a ridurre al di sotto degli 87dB(A) il valore del livello



RIQUADRO 1

LA VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE AL RUMORE SECONDO IL DLGS. 81/2008 E S.M.I.

Definiti:

en-

10-

di one

ZIO sile

cuni

etrinifilelle ntro nore

npre

azio-

esso

riale

si in

imu-

l'ul-

del-

ato-

81/

rienli re-

iani)

li in-

nore

al di vello

com

- pressione acustica di picco, p_{peak} il valore massimo della pressione acustica istantanea ponderata in frequenza C;
- LP,peak il livello della pressione ppeak;
- Lex,8h livello di esposizione giornaliera al rumore [dB(A) riferito a 20 μPa] il valore medio temporale dei livelli di esposizione al rumore in una giornata lavorativa nominale di 8 ore, definito dalla norma ISO 1999:1990.
- LEX,w livello di esposizione settimanale al rumore valore medio temporale dei livelli di esposizione giornaliera al rumore, in una settimana nominale di cinque giornate lavorative di 8 ore, definito dalla norma ISO 1999:1990;
- sono indivduate 4 classi di rischio per le quali prevedere specifiche misure secondo la tabella 1.

CLASSI DI RISCHIO E MISURE DA ADOTTARE SECONDO IL D.LGS. N. 81/2008

Classe		Limiti	Misure da adottare
di rischio	Definizione	Valori	U CAR
	Limite inferiore di azione	L _{EX,8h} < 80dB (A) e L _{P,peak} < 135dB (C)	Informazione e formazione dei lavorator
2	Limite inferiore e superiore di azione	80dB (A) ≤ L _{EX,8h} < 85dB (A) o 135dB (C) ≤ L _{P,peak} < 137dB (C)	Applicazione programma di misure tecniche e organizzative per ridurre l'esposizione al rumore
3	Limite superiore di azione e limite d'esposizione	85dB (A) ≤ L _{EX,8h} < 87dB (A) o 137dB (C) ≤ L _{P,peak} < 140dB (C)	Sorveglianza sanitaria dei lavoratori la co esposizione al rumore eccede i valori superiori di azione
4	Limite d'esposizione	L _{EX,8h} < 87dB (A) o L _{P,peak} < 140dB (C)	Adozione di misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione

equivalente giornaliero di esposizione. Il metodo applicato parte da una prima caratterizzazione delle emissioni acustiche del telaio tipo mediante l'impiego della tecnica intensimetrica secondo la norma 9614-2:1997^[1], volta a mappare il livello di potenza sonora sulle superfici di misura e a definire la direttività della singola sorgente puntuale equivalente[2] da utilizzare come valore di input all'interno di un software di simulazione acustica.

I risultati del modello di simulazione dell'ambiente acustico generato dalle sorgenti così caratterizzate sono utilizzati per la progettazione dell'intervento di bonifica.

Il modello numerico e la sua validazione

Il software di previsione acustica per interni utilizzato per questo lavoro è del tipo ray-tracing. La geometria del capannone è rappresentata in figura 1.

Era necessario che la descrizione geometrica della copertura a capriata, dei pilastri, delle travi, delle aperture e degli infissi fosse accurata per il ruolo che era prevedibile che questi elementi avrebbero giocato nell'identificazione corretto clima acustico a livello locale all'interno del capannone. I coefficienti di assorbimento adottati per le superfici erano quelli ricavati dalla letteratura[3](si vedano le tabelle 2 e 3).

^[1] ISO 9614-2:1997, «Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante metodo intensimetrico - Misurazione per scansione,

⁽si veda Bonifica acustica/1 degli stessi autori in questo stesso inserto)

³⁾ Per maggiori informazioni sul punto si vedano di Ettore Cirillo, Acustica applicata, McGraw-Hill, 1997; di Antia Lawrence, Architectural Acoustics, Elsevier Science Ltd, 1970; di Lennart Karlen, Akustik i rum och byggander, Svensk Byggtjänst, 1983; di Leo L. Beranek, Concert and Opera Halls - How They Sound, Springer-Verlag, New York (USA), 1996; di J. Petersen, Rumakustik, Statens Byggeforskningsinstitut, 1984; D.B. Bies, C.H. Hansen e M.J. Crocker, Sound Absorption in Enclosures, Encyclopedia of Acoustics, John Wiley & Sons Inc, 1997; di H. Kuttruff, Room Acoustics, Applied Science Publishers Ltd., Londra (UK), 1976 e di L. Cremer, H.A. Mueller, Principles and Applications of Room Acoustics, Applied Science Publishers, 1, 1997; di H. Wiley (1973) Londra/New York, 1982.



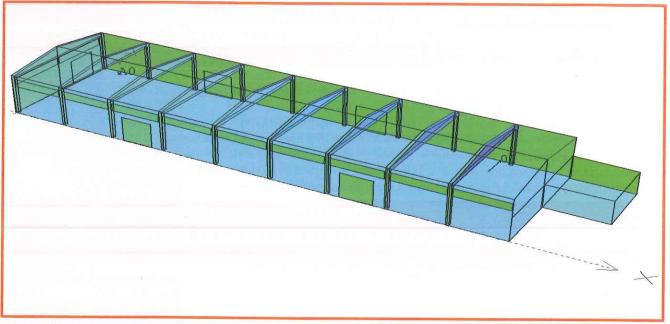
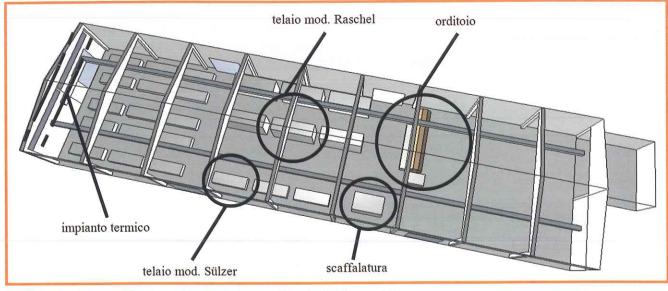


Figura 1 - La geometria del capannone industriale

COEFFICIENTI DI ASSORBIMENTO PER MURATURE IN LASTRE DI CEMENTO, PAVIMENTI IN CEMENTO E SUPERFICI RIGIDE								
Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000		
Cirillo	0,01	0,02	0,02	0.02	0,03	0,04		
Beranek	0,01	0,01	0,02	0.02	0,02	0,02		
Kutyruff	0,02	0,02	0,03	0.03	0,04	0,05		
Petersen	0,01	0,01	0,02	0.02	0,02	0,05		
Bies Hansen	0,01	0,01	0,02	0.02	0,02	0,02		
Karlen	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03		
Lawrence	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04		
Valore assunto	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03		

		TABELL		and the		
COEFFICIENT	TI DI ASSOR	BIMENTO	PER INFIS	SI IN VETI	RO E PORT	Έ
Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Beranek	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Petersen	0,10	0,07	0,05	0,05	0,02	0,02
Bies Hansen	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Karlen	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Lawrence	0,20	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02
Valore assunto	0,17	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02





- Figura 2 - Schematizzazione dei principali macchinari all'interno del capannone

I principali macchinari (telai piani, telai a intreccio annodato, orditoio, impianto termico) e la scaffalatura all'interno del capannone sono stati modellati con sagome semplificate (parallelepipedi o cilindri) dotate di superfici trasparenti alle sorgenti sonore collocate al loro interno (si veda la figura 2). Per queste superfici sono stati impostati coefficienti di assorbimento simili a quelli di superfici lisce non vibranti (si veda la tabella 4), a eccezione del rullo dell'orditoio, per il quale i coefficienti erano quelli tipici delle superfici fibrose di grosso spessore (si veda la tabella 5). Un'indagine fonometrica preliminare evidenziava livelli di rumorosità superiori ai limiti normativi nei pressi dei telai piani. Il normale turno lavorativo degli operatori era suddiviso in tempi dedicati a più mansio-

Per adeguare i dati disponibili alle modalità di input del modello numerico identificato, i valori di potenza dei telai piani venivano ricondotti a quelli riportati nella tabella 6.

Nella figura 3 sono illustrate le sor-

COEFFICIENTI D		TABELLA IENTO PER LLA SCAFF	LE SUPER		E MACCH	INE E
Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	400
	0.02	0.02	0,03	0.03	0.04	0,0

		TABELLA				
COEFFICIEN'	TI DI ASSOR	BIMENTO	PER IL RU	ILLO DELL	ORDITOIC)
Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000

^[4] Nel capannone le attività di tessitura consistono in:

.com

carico della materia prima (filati) sui macchinari tessili;

scarico del prodotto finito (reti) dalle linee di produzione;

[•]trasporto del prodotto finito dal punto di raccolta al magazzino;

<sup>controllo del ciclo produttivo;
manutenzione dei singoli macchinari.</sup>



LIVELLI DI POTENZA SONORA IN BANDA D'OTTAVA DEI TELAI PIANI

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
L _w [dB]	68,32	77,71	85,41	86,94	89,09	85,89

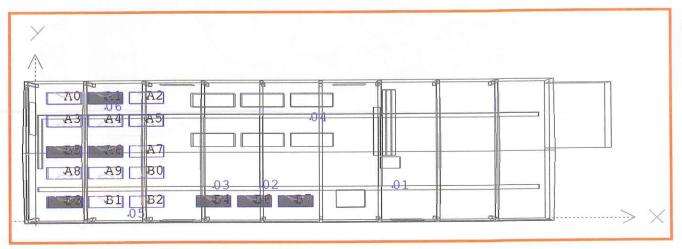


Figura 3 - Identificazione delle sorgenti sonore in funzione (in grigio) e dei ricevitori nel capannone

CONFRONTO TRA I VALORI DI LAeq STIMATI IN SITU E RICAVATI DALLA SIMULAZIONE

Postazione di ricezione	L _{Aeq} [dB(A)] rilevato	L _{Aeq} [dB(A)] simulato	Differenza [dB(A)]
01	87,6	87,0	- 0,6
02	91,6	91,6	+ 0,0
03	91,8	92,1	+ 0,3
04	89,9	89,5	- 0,4
05	92,2	92,0	- 0,2
06	93,0	92,8	- 0,2

genti (indicate da A0 ad A9 e da B0 a B7) che risultavano in funzione durante tutti i rilievi fonometrici effettuati in situ e le posizioni scelte dei ricevitori (indicati da 01 a 06). In particolare, le sorgenti in funzione sono quelle individuate con A1, A6, B3, B4, B5, B6 e B7. I risultati della simulazione, in termini di

livello equivalente di pressione sonora e per ogni postazione di ricezione, posti a confronto con i valori del LAEG stimati, negli stessi punti sono riportati nella tabella 7.

Il confronto indica che, ai fini della progettazione degli interventi, il modello poteva ritenersi accurato. L'analisi del clima acustico simulato evidenziava alti valori del tempo di riverberazione, soprattutto alle basse frequenze, con un conseguente significativo incremento generalizzato del livello di pressione sonora. Nella tabella 8 sono riportati per ogni sorgente i tempi di riverberazione generati T_{30} [s][5], EyrT $[s]^{[6]}$ e $SabT[s]^{[7]}$ alle varie frequenze.

^[5] T_{30} è calcolato dai valori di decadimento della riverberazione compresi tra - 5 e - 35 dB sulla curva integrata di Schröeder; per maggiori informazioni sul punto si veda, di M.R. Schröeder, New Method of Measuring Reverberation Time, Journal of Acoustical Society of America, 1965, 37, pag. 409. [6] EyrT è definito come il tempo necessario affinché la densità di energia sonora in un ambiente si riduca al valore di un milionesimo della densità presente al momento dell'interruzione della sorgente acustica (una riduzione di 60 dB in termini di livello sonoro) secondo la formula di Eyring. Si veda la ISO 3382:1997, «Acoustics - Measurement of the Reverberation Time in Auditoria».

[7] SabT è definito secondo la formula di Sabine. Si veda la ISO 3382:1997, «Acoustics - Measurement of the Reverberation Time in Auditoria».

JE

alle onseo ge-

sione

ipor-

pi di

 $[5]^{[5]},$

fre-

azioni

lensità reda la

com



Shar Sederline (Physical	Cimina Tell	TABE	LLA 8			THE SHAPE SHAPE
	VALORID	EI TEMPI [OI RIVERBI	ERAZIONE		
					nes angiomical an	ish it masir or
Sorgente		a his Million et in A		M. Surject		tero pilsas ca
Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
T ₃₀ [s]	5,85	5.87	5.60	5.50	4.83	3.41
EyrT [s]	8,62	10.13	7.90	7.62	5.46	3.34
SabT [s]	9,24	10.71	8.33	7.94	5.67	3.41
Sorgente			<u> </u>	۸6		
Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
T ₃₀ [s]	5,74	5,84	5,55	5.45	4.79	3.43
EyrT [s]	8,65	10,19	7,93	7.65	5.48	3.34
SabT [s]	9,24	10,71	8,33	7.94	5.67	3.41
Sorgente			В	33		
Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
T ₃₀ [s]	5,75	5,73	5,53	5,46	4,79	3,42
EyrT [s]	8,63	10,17	7,91	7,63	5,47	3,34
SabT [s]	9,24	10,71	8,33	7,94	5,67	3,41
Sorgente			E	34		
Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
T ₃₀ [s]	5,95	5,95	5,72	5,59	4,87	3,45
EyrT [s]	8,73	10,20	7,94	7,64	5,47	3,34
SabT [s]	9,24	10,71	8,33	7,94	5,67	3,41
Sorgente			E	35		
Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
T ₃₀ [s]	5,69	5,64	5,53	5,43	4,78	3,43
EyrT [s]	8,60	10,15	7,90	7,64	5,47	3,34
SabT [s]	9,24	10,71	8,33	7,94	5,67	3,41
Sorgente			E	36		
Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
T ₃₀ [s]	6,04	5,92	5,78	5,65	4,93	3,45
EyrT [s]	8,90	10,35	8,00	7,66	5,47	3,33
SabT [s]	9,24	10,71	8,33	7,94	5,67	3,41
Sorgente	The state of the s		a magarine m	37		
Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
T ₃₀ [s]	5,87	5,91	5,73	5,66	4,92	3,49
EyrT [s]	8,99	10,41	8,02	7,65	5,46	3,33
SabT [s]	9,24	10,71	8,33	7,94	5,67	3,41

Valutazione del clima acustico pre-bonifica e progettazione del primo intervento

Il parametro L_{EX,8h} era stimato con riferimento ai rilievi fonometrici conformi alle prescrizioni del D.M. 16 marzo 1998^[8] e ai risultati della simulazione numerica.

In vicinanza dei singoli telai (ricevitori 02, 03, 05 e 06), i rilievi fonometrici e i risultati della simulazione indicavano che il valore di L_{Aeq} superava i 90 dB(A); di poco inferiore era quello riscontrato per i ricevitori 01 e 04, in posizioni maggiormente distanti dalle sorgenti sonore attive.

Nella *tabella 9* sono riportati i tempi di permanenza dei lavoratori impegnati nelle diverse attività nelle varie parti del capannone.

Questo è utile a valutare il livello di esposizione giornaliera al rumore, $L_{\text{EX},8h}$. Questo parametro era risultato sostanzialmente identico se calcolato a partire dai rilievi *in situ* o a

^[8] D.M. 16 marzo 1998, «Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico».



valle delle simulazioni (90,7 dB(A) contro 90,6 dB(A).

Nella figura 4 sono riportate in rosso le parti del capannone all'interno delle quali il limite superiore era raggiunto con la permanenza di una sola ora nell'arco del turno lavorativo.

Dell'area delimitata in rosso non fa parte la zona di pertinenza del ricevitore 01. Il primo intervento di bonifica acustica compatibile con esigenze di carattere produttivo consisteva nella posa in opera di pannelli vibranti fonoassorbenti delle caratteristiche riportate nel riquadro 2 sulle pareti libere da impianti (si vedano, nella *figura 7*, gli elementi in verde).

Simulazione e valutazione del clima acustico post-bonifica

La simulazione condotta mediante

TABELLA 9

SUDDIVISIONE DEI TEMPI DI PERMANENZA DEI LAVORATORI NEL CAPANNONE PER ATTIVITÀ SVOLTA

ld. attività	Tempo complessivo per:	Ricevitore acustico di riferimento	Tempo [h]
		02	0,5
ī	Carico della materia prima a controlla del aucassa aucatustica	03	0,5
	Carico delle materie prime e controllo del processo produttivo	05	0,5
		06	0,5
		02	0,5
2	Scarico dei prodotti finiti dai telai di tessitura	03	0,5
2	scanco dei prodotti ililiti dai telai di tessitura	05	0,5
		06	0,5
3	Stazionamento nell'area stoccaggio per prelievo materia prima o deposito	01	2,5
,, ,	prodotti finiti	04	1,5
	Totale	ч	8

RIQUADRO 2

ASSORBITORI COVIBRANTI

Gli assorbitori covibranti scelti sono lastre fonoassorbenti forate a norma DIN 18180 e classe di resistenza al fuoco 1, aventi una percentuale di foratura dell'8% della superficie, fori del diametro di 6 mm e passo della foratura pari a 18 mm; il loro spessore minimo è di 12,5 mm, e sono dotate nella parte posteriore di feltro fonoassorbente in fibra minerale da 45 g/m². Le lastre garantivano in opera i coefficienti di assorbimento indicati nella tabella 10.

TABELLA 10

COEFFICIENTI DI ASSORBIMENTO DELLE LASTRE FONOASSORBENTI A PARETE

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	
Coefficiente di assorbimento	0.38	0.78	0.75	0.68	0.78	0.72	

Il tutto era posto in opera su un'orditura metallica a formare un'intercapedine di spessore pari a $10~\rm cm$, in modo da formare riquadri delle dimensioni di $1~\rm m^2$.

ISTICA

lavoro Sicuro

da im-7, gli

ne

diante

mpo h]),5),5

),5),5),5),5),5

,5 ,5 **8**

o 1, a ora

da

.com

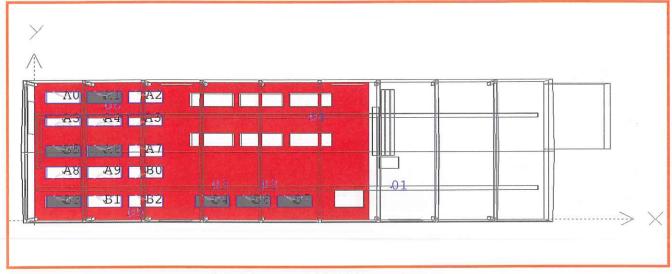


Figura 4 - Area rossa: zona suscettibile di intervento di bonifica acustica

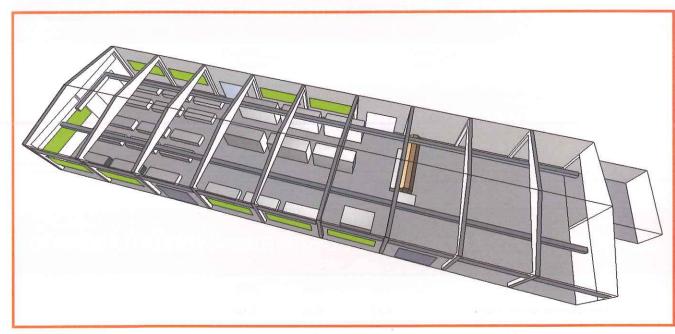


Figura 5 - Identificazione degli elementi fonoassorbenti (in verde) a parete all'interno del capannone

CONFRO	TAB ONTO TRA I VALORI DI LA	ella 11 leq SIMULATI PRE E POS	T-BONIFICA
Postazione di ricezione	L _{Aeq} [dB(A)] simulato pre-bonifica	L _{Aeq} [dB(A)] simulato post-bonifica	Riduzione L _{Aeq} [dB(A)]
01	87,6	83,6	- 4.0
02	91,6	87,9	- 3.7
03	91,8	88,4	- 3.4
04	89,9	85,9	- 4.0
05	92,2	88,0	- 4.2
06	93,0	89,0	- 4.0



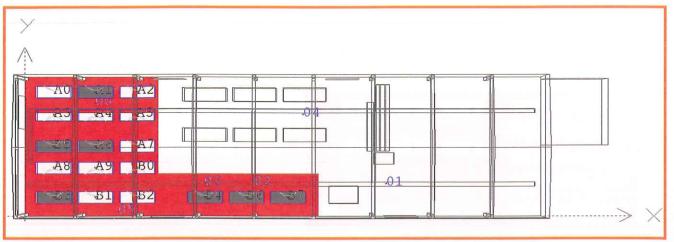


Figura 6 - Nuova area rossa: zona di classe 4

TABELLA 12 CONFRONTO TRA I VALORI DI Laeq SIMULATI E RILEVATI POST-BONIFICA Postazione di ricezione Laeq [dB(A)] rilevato Laeq [dB(A)] Simulato Differenza [dB(A)]

Postazione di ricezione	L _{Aeq} [dB(A)] rilevato	L _{Aeq} [dB(A)] simulato	Differenza [dB(A)]
01	83,1	83,6	+ 0,5
02	87,8	87,9	+ 0,1
03	88,7	88,4	- 0,3
04	85,4	85,9	+ 0,5
05	87,9	88,0	+ 0,1
06	89,4	89,0	- 0,4

TABELLA 13

COEFFICIENTI DI ASSORBIMENTO DELLE LASTRE FONOASSORBENTI A SOFFITTO

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Coefficiente di assorbimento	0,13	0,24	0,50	0,75	0,88	0,94

l'impiego della soluzione scelta con il primo intervento di bonifica aveva prodotto i valori di L_{Aeq} riportati nella *tabella 11* dove è evidente la riduzione del livello di pressione sonora equivalente rispetto alla situazione precedente all'intervento.

Le differenze fra il *pre* e il *post*-bonifica, in quanto stimate a parità di altre condizioni al contorno e di modalità di calcolo, possono essere attribuite in via esclusiva alle soluzioni adottate. La riduzione ottenuta si era dimostrata pressoché uniforme

nelle varie zone del capannone. Questo era dovuto al fatto di avere intensificato la presenza dei pannelli fonoassorbenti nelle aree maggiormente rumorose (quelle occupate dai telai piani). Ripetendo il calcolo con i tempi della *tabella 9*, era stato ottenuto un valore di L_{EX,8h} nella nuova condizione pari a 86,9 dB(A). Il limite di esposizione (87 dB(A)) era ora superato con una permanenza del lavoratore di almeno 4 ore all'interno dell'area rossa della *figura 6* (area ridotta rispetto a quella della

figura 4). La zona rossa era stata limitata esclusivamente alla zona di pertinenza dei telai piani. In generale, il miglioramento del clima acustico sopportato dai lavoratori era risultato compreso fra 3,4 dB(A) e 4,2 dB(A).

Rilievi fonometrici dopo gli interventi di bonifica progettati

Successivamente alla realizzazione degli interventi di bonifica descritti, erano stati condotti nuovamente



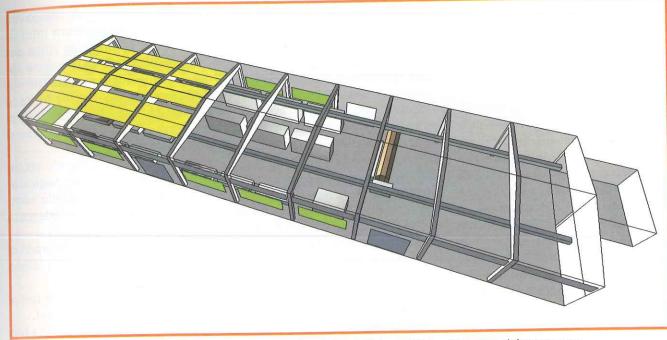


Figura 7 - Identificazione degli elementi fonoassorbenti (in giallo) a soffitto all'interno del capannone

VALORI DI LAeq SIMULATI SUCCESSIVAMENTE ALL'INTERVENTO INTEGRATIVO E RIDUZIONI RISPETTO ALLE CONDIZIONI PRE-BONIFICA E DOPO IL PRIMO INTERVENTO

Postazione di ricezione	L _{Aeq} [dB(A)] simulato post-intervento integrativo	Riduzione L _{Aeq} [dB(A)] rispetto alla condizione pre-bonifica	Riduzione L _{Aeq} [dB(A)] rispetto al primo intervento
01	83,0	- 4,6	- 0,6
02	86,7	- 4,9	- 1,2
03	86,9	- 4,9	- 1,5
04	85,4	- 4,5	- 0,5
05	85,2	- 7,0	- 2,8
06	86,8	- 6,2	- 2,2

i rilievi fonometrici per ogni ricevitore.

Nella tabella 12 sono riportati i nuovi valori rilevati e calcolati.

Il valore del L_{EX,8h} a partire dai valori rilevati in situ successivamente agli interventi di bonifica era risultata pari a 86,9 dB(A).

I risultati dell'intervento di risanamento acustico realizzato erano, dunque, in linea con le previsioni progettuali e avevano dimostrato che il modello software è preciso e affidabile in fase progettuale.

La permanenza nella zona rossa per tempi superiori a quelli considerati nel calcolo comportava, però, l'esposizione dei lavoratori a un livello di rumore ricadente ancora nella classe 4 di rischio.

Per questi motivi non poteva essere escluso che potesse essere necessaria un'integrazione al primo intervento di bonifica in un momento successivo.

Progettazione e simulazione dell'intervento integrativo

Per la presenza di ampie zone libere sotto la copertura del capannone, era possibile dotare il soffitto di superfici fonoassorbenti in materiale fibroso.

ente

com

zione

scrit-

ata lina di nera-

custi-

ra ri-

e 4,2

lavoro sicuro

XXI



L'intervento consisteva nell'installazione di lastre commerciali in resina melamminica o poliestere espanso, con superficie di forma piramidale o simile in grado di garantire i coefficienti di assorbimento riportati nella tabella 13. Le porzioni di soffitto interessate dai lavori erano quelle indicate in figura 7 (elementi in giallo). La simulazione con le nuove superfici assorbenti conduceva ai valori L_{Aeq} di contenuti nella tabella 14, nella quale riportate anche le riduzioni di L_{Aeq} rispetto alle condizioni pre-bonifica e a seguito del primo intervento.

È opportuno sottolineare che la riduzione del livello di pressione sonora equivalente rispetto alla condizione successiva al primo intervento realizzato sia compresa tra gli 0,5 e i 2,8 dB(A), rispettivamente passando dalle posizioni dei ricevitori più distanti a quelli più prossimi alle superfici di posa in opera delle lastre fonoassorbenti a soffitto.

Il livello di esposizione giornaliera

al rumore, secondo i tempi riportati nella *tabella 9*, a valle dell'intervento integrativo era risultato pari a 85,4 dB(A). In questo caso, il limite di esposizione non sarebbe mai superato e questo porterebbe all'azzeramento delle aree rosse indicate nella *figura 4* e nella *figura 6*. Il clima acustico all'interno del capannone ricadrebbe in classe 3.

Conclusioni

Con i dati rilevati a seguito di un'indagine intensimetrica in situ della potenza e della direttività delle sorgenti sonore presenti all'interno del capannone industriale oggetto di un intervento di bonifica acustica, è stato possibile realizzare un modello numerico del comportamento acustico dell'intero capannone. Il confronto tra i risultati del calcolo e dei rilievi ha dimostrato l'affidabilità dello strumento software e del metodo utilizzato ai fini della progettazione degli interventi di bonifica. L'utilizzo combinato di rilevazioni fonometriche sia di natura intensimetrica, sia basate sulla stima del livello equivalente di pressione sonora e di metodi di simulazione numerica di tipo *ray-tracing* fornisce al progettista acustico un metodo di stima e di verifica dei risultati che si è dimostrata:

- coerente, in quanto non c'è necessità di provvedere ad aggiustamenti empirici del modello adottato per garantire un'adeguata aderenza al caso reale;
- efficace, poiché risulta in grado di predire accuratamente il clima acustico in analisi;
- efficiente, perché richiede tempi di analisi relativamente brevi.

Questi vantaggi contribuiscono a fornire al progettista acustico un più elevato livello di confidenza sui risultati stimati delle proprie relazioni tecniche di progetto a supporto della consulenza in tema di *comfort* acustico e di sicurezza sul lavoro.

