

RUMORE DA PIOGGIA, LIVELLO SONORO E CONFORT INTERNO

a cura di

* Riccardo Gandolfi, Luigi Pagnoncelli

Introduzione

Le coperture sono uno dei principali elementi che compongono l'involucro, di conseguenza svolgono un ruolo importante nella progettazione acustica dell'edificio e possono fare la differenza tra un ambiente confortevole e uno stressante o tra una buona intellegibilità e un rumore di fondo eccessivo. Le coperture sono esposte sia a rumori di tipo aereo come il traffico stradale e aereo, sia a rumori di tipo impattivo come le piogge.

L'impatto della pioggia battente sulle coperture leggere metalliche o lignee, a causa della loro scarsa capacità di smorzamento interno, può rappresentare una sorgente di rumore significativa e fonte di disturbo negli ambienti sottostanti.

La comprensione delle criticità principali legate al sistema tecnologico e la definizione di soluzioni appropriate possono migliorare notevolmente la qualità acustica degli spazi coperti interni.

Bassi livelli di rumore di fondo e il bisogno di appropriati livelli di isolamento al rumore generato dalla pioggia sono dei requisiti fondamentali per gli edifici moderni. In qualsiasi ambiente, un giusto livello di rumore di fondo non dovrebbe mai essere superato indipendentemente dalle condizioni atmosferiche esterne. Infatti, l'esposizione ad alti livelli di rumore può portare ad un generale affaticamento e a difficoltà di concentrazione. Lo scopo del presente lavoro è quello di definire un metodo di calcolo approssimato che permetta di calcolare il livello di pressione sonora LP generato nell'ambiente sottostante dalla pioggia battente su una copertura partendo dai livelli d'intensità misurati in laboratorio L_T .

Misura sperimentale del rumore da pioggia

La valutazione sperimentale in laboratorio del rumore generato dall'impatto della pioggia su un elemento edilizio è descritta nell'allegato K della norma UNI EN ISO 10140-1 [1]. Non è possibile descrivere in modo definitivo la pioggia naturale a causa di diversi fattori di variabilità, come ad esempio la posizione geografica, la costanza e stabilità nel tempo. Inoltre, le gocce di pioggia naturale possono avere diametro variabile, forma e velocità diverse: questi elementi introdurrebbero notevoli variabili alla misura.

L'eccitazione generata da gocce di pioggia artificiali ottenute in condizioni controllate permette la ripetibilità e la riproducibilità del test di laboratorio, altrimenti non possibile utilizzando la pioggia reale.

La sorgente di pioggia artificiale è descritta nell'appendice H della norma UNI EN ISO 10140-5 [2] e vengono distinte due tipologie: pesante (da utilizzare nel confronto tra prodotti) e intenso (necessario se si vogliono investigare piovosità minori) sulla base della classificazione presente nella norma IEC 60721-2-2 [3].

(cfr. Tabella 1)

Possono essere trovate similarità tra la pioggia naturale pesante e quella artificiale [4] e in aggiunta la tipologia di pioggia pesante è da preferire per la caratterizzazione di coperture ad elevate prestazioni poiché spesso il livello di pressione sonora, in particolare alle medie-alte frequenze, possono essere al di sotto del rumore di fondo.

Tipo	Intensità (mm/h)	Diametro (mm)	Velocità (m/s)
Intenso	fino a 15	da 1 a 2	da 2 a 4
Pesante	fino a 40	da 2 a 5	da 5 a 7

Tabella 1: Tipologie di pioggia

La metodologia prevede la valutazione del livello di intensità irradiato per unità di superficie L_I , che può essere determinato sia con il metodo indiretto, in funzione del livello medio di pressione sonora e del tempo di riverberazione misurati nell'ambiente ricevente, sia con il metodo diretto, effettuando le misurazioni con una sonda intensimetrica, in accordo con la norma UNI EN ISO 15186-1 [5].

Per elementi omogenei, la potenza irradiata dall'elemento di prova è proporzionale all'area di eccitazione. L'area di eccitazione utilizzata nelle misurazioni di laboratorio non copre l'intera superficie del campione di copertura, quindi è utile presentare i valori in termini di livello di intensità sonora, L_I . Per le misurazioni del livello di pressione sonora, per ciascuna frequenza centrale di banda per terzi d'ottava, i livelli medi di pressione sonora devono essere convertiti in livelli di potenza sonora per unità di superficie o in livelli di intensità sonora, L_I , attraverso l'applicazione dell'equazione (1):

$$L_I = L_{pr} - 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) + 10 \log \left(\frac{V}{V_0} \right) - 14 + 10 \log \left(\frac{S_e}{S_0} \right) \quad (1)$$

dove:

L_{pr} livello di pressione sonora in camera ricevente, in dB;

T tempo di riverberazione in camera ricevente, in s;

T_0 tempo di riverberazione di riferimento pari 1 s ;

V volume della camera ricevente, in m^3 ;

V_0 volume di riferimento pari a 1 m^3 ;

S_e superficie del campione eccitata direttamente dal generatore artificiale di pioggia, in m^2 ;

S_0 superficie di riferimento pari a 1 m^2 .

In alternativa all'uso del metodo di misurazione del livello di pressione sonora, in accordo alla ISO 15186-1 [5], il metodo intensimetrico può essere impiegato per determinare direttamente i livelli di intensità e L_I irradiati dal campione di prova secondo l'equazione (2):

$$L_I = L_{In} + 10 \ln \left(\frac{S_m}{S_e} \right) \quad (2)$$

Dove L_{In} è la media spaziale e temporale del livello di intensità sonora rispetto all'area di misura S_e .

I livelli in banda di un terzo d'ottava, $L_{1/3}$, possono essere combinati e convertiti per ottenere un livello

di intensità sonora ponderato A L_{IA} applicando i fattori standardizzati di ponderazione A (3):

$$L_{IA} = \sum_{i=1}^{18} 10^{(L_i + C_i)/10} \quad (3)$$

dove:

$L_{i,1}$ livello i -esimo in bande di terzi d'ottava;

C_i valori per frequenze centrali di banda in terzi d'ottava comprese tra 100 Hz e 5000 Hz

Risultati prove di laboratorio

Le misurazioni sono state condotte in conformità alla ISO 10140-1 [1] dove un flusso costante e specifico di gocce di pioggia impatta sulla parte superiore della copertura e il rumore risultante viene misurato al di sotto all'interno della camera ricevente. Il sistema di generazione di pioggia artificiale costituito da una vasca con fondo forato produce il tipo di pioggia intensa come definito nella ISO 10140-1 [1].

La soluzione è stata testata anche in termini di potere fonoisolante conformemente alle ISO 10140-2 [6].

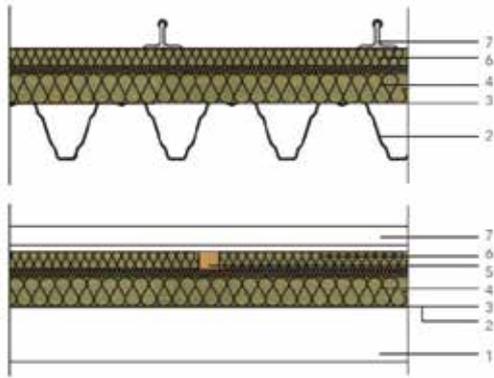
La tenuta idraulica è garantita da elementi grecati in alluminio dello spessore di 0.7 mm posati a sormonto. Il fissaggio alla struttura sottostante è realizzato mediante staffe di natura plastica, a loro volta fissate su listelli in legno d'abete, sezione nominale 50 mm × 40 mm, posati sulla base di 50 mm poggiati sul sottostante pannello in lana di roccia ad alta densità e fissati meccanicamente al supporto con viti passanti.

Il pannello in lana di roccia, steso in continuo senza listelli di contenimento, ha uno spessore di 100 mm ed è realizzato con la tecnologia a doppia densità (parte esterna 210 kg/m^3 – corpo del pannello 120 kg/m^3) che garantisce alti livelli di resistenza a compressione.

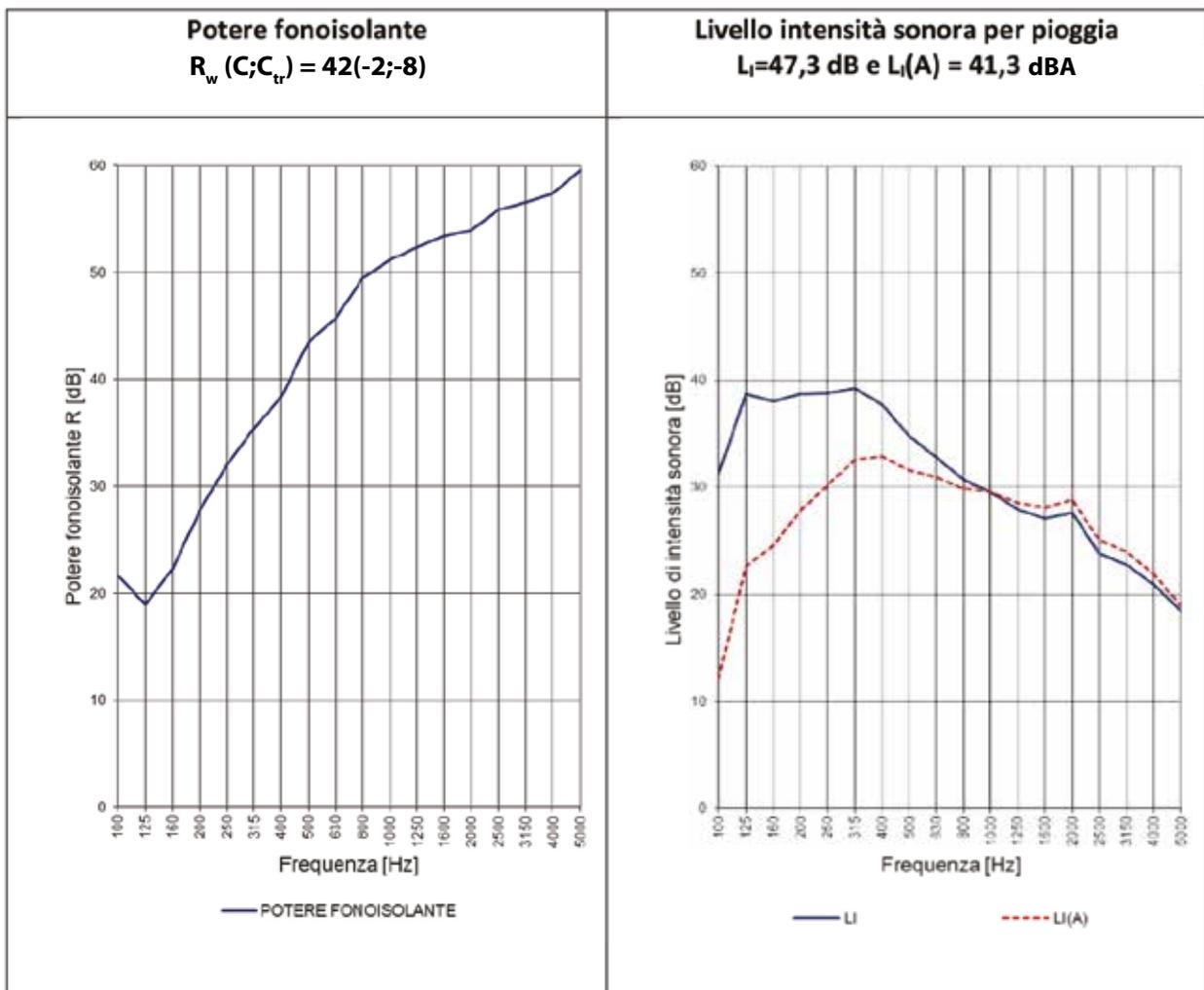
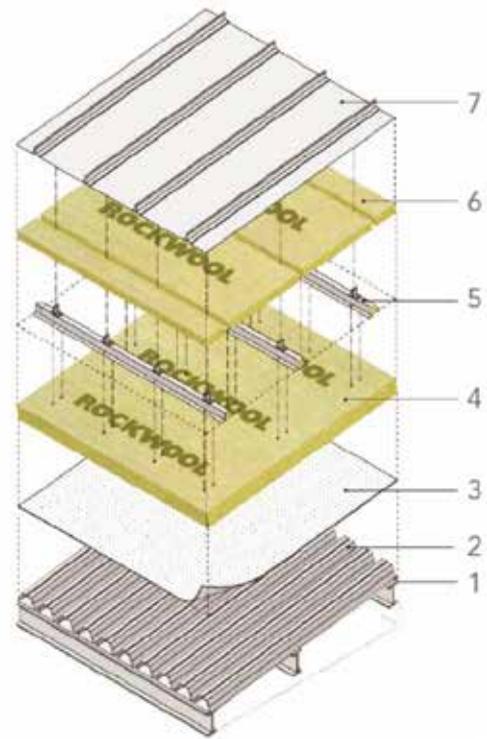
Lo spazio tra i listelli in legno è riempito con pannelli in lana di roccia a bassa densità (40 kg/m^3) da 40 mm di spessore.

La funzione strutturale è svolta da lastre grecate in acciaio zincato dello spessore di 1 mm con una massa superficiale di 11.6 kg/m^3 . Le lastre sono fissate alle travi in legno d'abete lamellare della struttura di supporto per mezzo di viti in acciaio.

Di seguito vengono riportati gli schemi stratigrafici e le curve relative alle misure di isolamento acustico e rumore da pioggia.



1. Elemento strutturale in acciaio
2. Lamiera grecata portante in acciaio zincato sp. 10/10
3. Barriera al vapore (non presente nella misura di laboratorio)
4. ROCKWOOL Flatrock 50 sp. 100mm
5. Listello in legno
6. ROCKWOOL Pannello 211 sp. 40 mm
7. Manto di finitura in lastre metalliche in alluminio sp. 7/10



Livello sonoro interno derivante da impatto di pioggia su copertura

In generale il livello di pressione sonora prodotta da una sorgente di potenza acustica nota, ad una prefissata distanza dalla sorgente, dipende dalla tipologia di propagazione e dal campo sonoro.

È pertanto necessario introdurre semplificazioni sulle modalità tramite cui il suono è irradiato dalla copertura ed effettuare ipotesi sulla natura del campo sonoro.

In accordo alla norma ISO 10140-5 allegato K [2], a partire dai valori di intensità sonora L_I misurati in laboratorio, la potenza sonora irradiata da un elemento omogeneo [4] quando eccitato sull'intera superficie (S_{roof}) può essere calcolato come da formula (4):

$$L_W = L_I + 10 \log \left(\frac{S_{roof}}{S_0} \right) \quad (4)$$

Va inoltre ricordato [4] che, per un elemento di copertura, l'efficienza di radiazione al di sotto della frequenza critica è fortemente dipendente dalle dimensioni della struttura in esame e dalle sue condizioni di vincolo.

La formulazione semplificata è validata se le condizioni in opera non differiscono in modo significativo da quelle di laboratorio ovvero se l'efficienza di radiazione dell'elemento testato e quella dell'elemento in opera sono paragonabili.

Ai fini di questa analisi, si considera la copertura come una sorgente piana, ovvero una superficie bidimensionale che è grande rispetto alla distanza di misurazione, che irradia fronti d'onda nella direzione di propagazione del suono e che si presume essere incoerente [7], vale a dire senza una relazione di fase fissa tra i vari punti sulla sua superficie. Quando la direzione di propagazione coincide con la normale alla superficie piana, è possibile esprimere l'intensità acustica con la relazione (5):

$$I = \frac{W}{S_{roof}} \quad (5)$$

dove W è la potenza acustica della sorgente ed S_{roof} è la superficie attraverso la quale avviene la propagazione sonora.

Dividendo ambo i membri per l'intensità di riferimento $I_0=10^{-12}$ W/m² ed esprimendo quindi l'intensità di riferimento come rapporto tra la potenza di riferimento, $W_0=10^{-12}$ W, e la superficie unitaria, $S_0=1$ m², si ha:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{W}{I_0 \cdot S_{roof}} = \frac{W}{\frac{W_0}{S_0} \cdot S_{roof}} = \frac{W \cdot S_0}{S_{roof} \cdot W_0}$$

passando ai logaritmi si ottiene

$$10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{W \cdot S_0}{S_{roof} \cdot W_0} \right)$$

e ricordando le definizioni di livelli si ha che:

$$L_I = 10 \log \left(\frac{W}{W_0} \right) + 10 \log \left(\frac{S_0}{S_{roof}} \right)$$

$$L_I = L_W - 10 \log \left(\frac{S_{roof}}{S_0} \right)$$

$$L_W = L_I + 10 \log \left(\frac{S_{roof}}{S_0} \right) \quad (6)$$

Nell'ipotesi di un campo sonoro perfettamente diffuso in cui il suono nello spazio chiuso è stato riflesso ripetutamente dai confini, si definisce un campo acustico uniforme in cui la pressione sonora è costante in ogni punto.

Una tale ipotesi non tiene necessariamente conto né dei fenomeni di campo diretto in prossimità della sorgente né dei fenomeni di interferenza che si generano avvicinandosi agli angoli dell'ambiente. Tuttavia, gli autori, ritengono che il campo sonoro diffuso possa essere un'approssimazione molto pratica al campo sonoro reale.

Ricordando l'equazione di Hopkins-Stryker il livello di pressione sonora può essere stimato come segue:

$$L_P = L_W + 10 \log \left(\frac{4}{A} \right) \quad (7)$$

$$L_P = L_W + 10 \log \left(\frac{4T}{0,16 \cdot V} \right) \quad (8)$$

essendo A l'area di assorbimento equivalente calcolata con la relazione (9):

$$A = \alpha \cdot S = \sum_i^n \alpha_i \cdot S_i = \frac{0,16 \cdot V}{T} \quad (9)$$

dove:

$\bar{\alpha}$ è il coefficiente di assorbimento medio dell'ambiente ricevente;

S e V sono rispettivamente la superficie e il volume dell'ambiente ricevente

S_i ed α sono rispettivamente l'area ed il coefficiente di assorbimento acustico della porzione "i-esima" della superficie che delimita l'ambiente.

Riassumendo, dalle formule (6) e (9) si ha:

$$L_p = L_l + 10 \log \left(\frac{S_{roof}}{S_0} \right) + 10 \log \left(\frac{4T}{0,16V} \right) \quad (10)$$

il livello di pressione sonora nell'ambiente ricevente L_p può essere stimato con l'espressione (10) a partire dal livello di intensità per unità di superficie misurato in laboratorio L_l , in funzione della superficie della copertura S_{roof} e dall'area di assorbimento equivalente A dell'ambiente ricevente.

Caso studio: livello di pressione sonora generato dal rumore da pioggia in un'aula scolastica

Sulla base delle misure in laboratorio del rumore generato da pioggia battente su copertura, viene riportato un esempio di calcolo del livello di pressione sonora $L_p(A)$ nell'ambiente sottostante.

Il calcolo viene eseguito per un'aula scolastica destinata ad attività di lezione-comunicazione con un

volume V pari a 192 m^3 ($L_x P_x H$ pari a $6 \times 8 \times 4 \text{ m}$) e un tempo di riverbero ottimale corrispondente ad un'occupazione convenzionale dell'ambiente pari all'80% determinato secondo la norma UNI 11532-2 [8] con la relazione (11):

$$T_{ott;A3} = 0,32 \cdot \log V - 0,17 \quad (11)$$

Il tempo di riverberazione dell'aula arredata e non occupata è calcolato con la formula (12) considerando un'occupazione massima di 24 alunni (scuola primaria fino a 11 anni) e di 2 insegnanti.

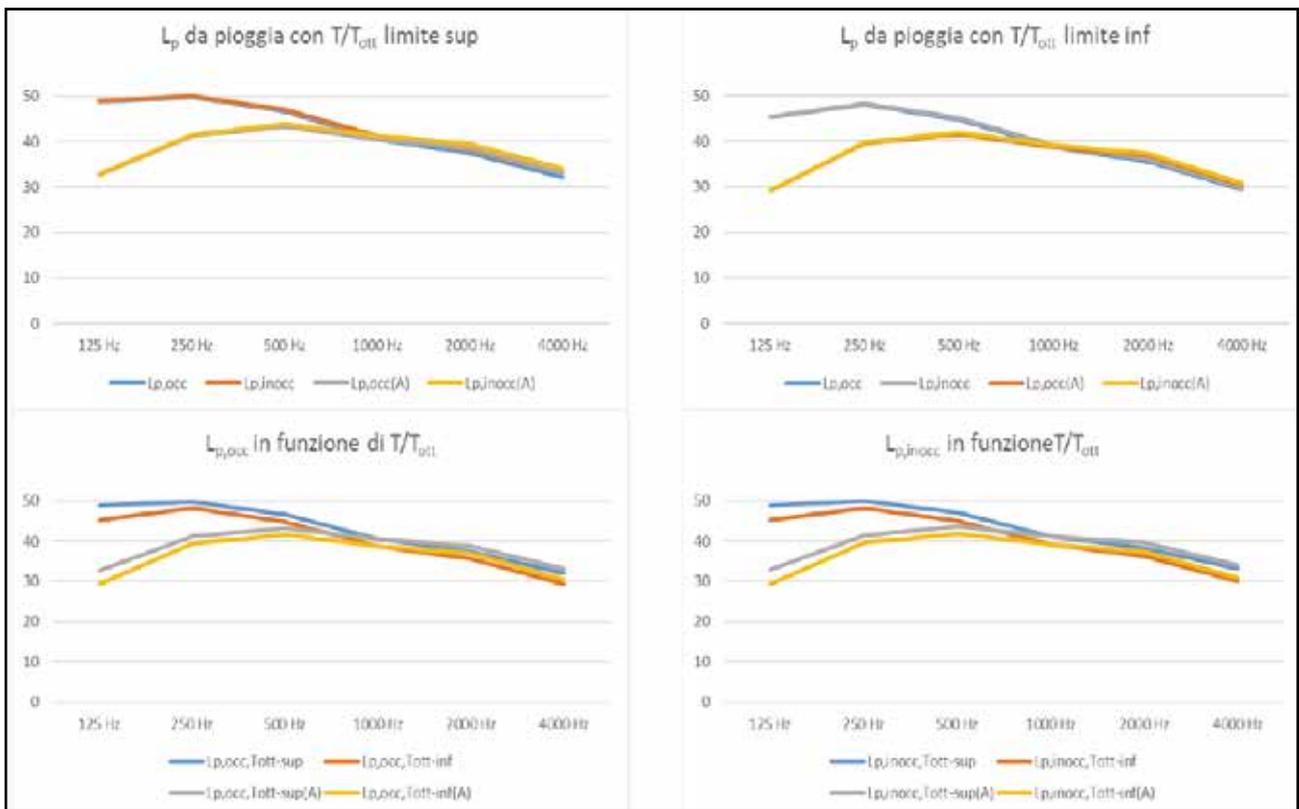
$$T_{inocc} = \frac{T_{occ}}{1 - T_{occ} \frac{\Delta A_{pers}}{0,16V}} \quad (12)$$

Considerando l'intervallo di conformità del tempo di riverberazione T rispetto al tempo di riverberazione T_{ott} , dipendente dalla frequenza nelle bande di ottava tra 125 Hz e 4000 Hz, si ha per il limite di conformità superiore:

f [Hz]	L_l	L_w	T/T_{ott}	T_{occ}	$L_{p,occ}$	$L_{p,occ}(A)$	ΔA_{pers}	T_{inocc}	$L_{p,inocc}$	$L_{p,inocc}(A)$	
125	41,8	58,6	1,45	0,81	48,8	32,7	1,20	0,84	49,0	32,9	
250	43,7	60,5	1,20	0,67	49,9	41,3	2,40	0,71	50,1	41,5	
500	40,3	57,2	1,20	0,67	46,6	43,4	4,48	0,75	47,0	43,8	
1000	34,3	51,1	1,20	0,67	40,6	40,6	7,44	0,80	41,3	41,3	
2000	31,2	48,0	1,20	0,67	37,5	38,7	8,56	0,83	38,4	39,6	
4000	25,8	42,6	1,20	0,67	32,1	33,1	9,52	0,85	33,1	34,1	
L_l		L_w		$L_{p,occ}$		$L_{p,occ}(A)$		$L_{p,inocc}$		$L_{p,inocc}(A)$	
47,3 dB		64,1 dB		53,8 dB		47,6 dBA		54,1 dB		48,2 dBA	

e per il limite di conformità inferiore:

f [Hz]	L_l	L_w	T/T_{ott}	T_{occ}	$L_{p,occ}$	$L_{p,occ}(A)$	ΔA_{pers}	T_{inocc}	$L_{p,inocc}$	$L_{p,inocc}(A)$	
125	41,8	58,6	0,65	0,36	45,3	29,2	1,20	0,37	45,4	29,3	
250	43,7	60,5	0,80	0,45	48,2	39,6	2,40	0,46	48,3	39,7	
500	40,3	57,2	0,80	0,45	44,8	41,6	4,48	0,48	45,1	41,9	
1000	34,3	51,1	0,80	0,45	38,8	38,8	7,44	0,50	39,3	39,3	
2000	31,2	48,0	0,80	0,45	35,7	36,9	8,56	0,51	36,3	37,5	
4000	25,8	42,6	0,65	0,36	29,4	30,4	9,52	0,41	29,9	30,9	
L_l		L_w		$L_{p,occ}$		$L_{p,occ}(A)$		$L_{p,inocc}$		$L_{p,inocc}(A)$	
47,3 dB		64,1 dB		51,5 dB		45,8 dBA		51,7 dB		46,1 dBA	



Per aule e biblioteche con volume inferiore a 250 m³, la norma 11532-2:2020 [8] richiede che siano garantiti livelli di rumore in ambiente L_{amb} inferiori a 38 dB(A) ad ambiente arredato e non occupato. Il parametro L_{amb} rappresenta il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A, per un intervallo temporale di 30 minuti (in periodo diurno tra le ore 09.00 e le ore 11.00 di un giorno infrasettimanale) ed è determinato dal contributo del rumore di impianti a funzionamento continuo a servizio dell'ambiente e dal rumore dovuto a sorgenti esterne alla scuola. Nel caso di studio sviluppato, in presenza di copertura leggera ad elevate prestazioni, i livelli di pressione sonora generati nell'ambiente ricevente dalla pioggia battente di tipo pesante variano da 46,1 dBA a 48,2 dBA ad ambiente arredato non occupato superando di 8-10 dBA il livello massimo di rumore in ambiente L_{amb} da garantire in aule e biblioteche. Per il loro carattere di non prevedibile intensità e ricorrenza, gli autori non ritengono propriamente corretto dover ricomprendere i fenomeni atmosferici nel limite dei 38 dBA individuato dalla normativa italiana. Si ritiene tale limite rappresentativo di sorgenti con maggiore ricorrenza e continuità temporale (rumore da traffico

veicolare o ferroviario, rumore da attività commerciali o industriali, ecc.).

In ogni caso però, il superamento del limite di rumore in ambiente dovuto alla pioggia battente rappresenta una condizione evidente di discomfort che richiede un adeguato controllo in fase progettuale.

L'esperienza inglese [9] raccomanda che, in caso di pioggia pesante battente sulla copertura, il livello di rumore in ambiente ($L_{Aeq,30min}$ livello equivalente ponderato A con un tempo di integrazione pari a 30 minuti) da calcolo non superi di 25 dB il livello massimo ammissibile previsto per il normale svolgimento dell'attività. Per le aule scolastiche il BB93 (Building bulletin 93 Acoustic design of schools: performance standards) fissa in 35 dB(A) $L_{Aeq,30min}$ il limite massimo di rumorosità ambientale a per ambiente non occupato. L'importanza dell'isolamento dal rumore generato dalla pioggia battente su sistemi di copertura è evidenziata anche all'interno del protocollo di sostenibilità BREEAM [10] che permette il raggiungimento di un ulteriore credito nel caso in cui sia dimostrato sulla base di calcoli a partire da dati di laboratorio ottenuti secondo ISO 10140-5 il rispetto dei limiti di $L_{Aeq,30min}$.

Conclusioni

L'impatto della pioggia battente sulle coperture metalliche o lignee può rappresentare una sorgente di rumore significativa e fonte di disturbo negli ambienti sottostanti. Questo è di particolare importanza in edifici caratterizzati da soluzioni di copertura leggere che, a causa della bassa massa in gioco, sono più sensibili alle trasmissioni di questa tipologia di rumore. Valutare sulla base di calcoli a partire da dati di laboratorio i livelli di rumore raggiunti può essere un valido metodo di confronto delle prestazioni acustiche di diversi pacchetti di copertura o dell'eventuale presenza di serramenti.

Considerando il tempo di ritorno di una precipitazione come l'intervallo massimo di tempo, in anni, che può trascorrere probabilisticamente affinché il valore di intensità possa essere uguagliato o superato e analizzando i dati italiani di massima precipitazione di durata un'ora [11], il calcolo dei livelli di pressione sonora nell'ambiente ricevente a partire dai livelli di intensità sonora L_1 generati dalla pioggia battente di tipo pesante (40 mm/h) rappresenta uno scenario con un tempo di ritorno inferiore a 10 anni. Una valutazione basata sulla misura in laboratorio con pioggia battente di tipo intensa potrebbe essere più appropriata per rappresentare le condizioni vissute più frequentemente.

Se da un lato il rumore da pioggia rientra tra le sorgenti esterne da considerare per la progettazione del confort interno, dall'altro il carattere di non prevedibile intensità e ricorrenza rende non possibile la valutazione del fenomeno tramite misure in opera. Dal punto di vista progettuale, in funzione della destinazione d'uso del locale (riposo, svago, apprendimento, ...) e dal contesto (giorno/notte), ulteriori riflessioni potrebbero essere fatte in riferimento alla probabilità di non superamento di livelli di rumore quando associati ad eventi atmosferici di determinata intensità, frequenza e durata. 

* *Riccardo Gandolfi, Luigi Pagnoncelli*
ROCKWOOL Italia S.p.A.

Bibliografia

- [1] UNI EN ISO 10140-1:2014, Acustica - Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio - Parte 1: Regole di applicazione per prodotti particolari.
- [2] UNI EN ISO 10140-5:2014, Acustica - Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio - Parte 5: Requisiti per le apparecchiature e le strutture di prova.
- [3] IEC 60721-2-2:2012, Classification of environmental conditions. Part 2: Environmental conditions appearing in nature. Precipitation and wind.
- [4] Hopkins C. (2007), Sound Insulation, Elsevier.
- [5] UNI EN ISO 15186-1:2003, Acustica - Misurazione mediante intensità sonora dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazione in laboratorio.
- [6] UNI EN ISO 10140-2:2010, Acustica - Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio - Parte 2: Misurazione dell'isolamento acustico per via aerea.
- [7] Marshall L. (2006) Architectural Acoustics, Elsevier Academic Press, Burlington MA.
- [8] UNI 11532-2:2020, Acustica - Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 2: Settore scolastico.
- [9] Hopkins, C. (2006). Rain noise from glazed and lightweight roofing. BRE IP 2/06, IP2 06, Watford.
- [10] BREEAM Building Research Establishment Environmental Assessment Method, BREEAM UK New Construction, tabella 18: BREEAM Acoustic criteria for Education buildings - Internal indoor ambient noise levels.
- [11] Usai E. (2008). Manuale di idrologia per la progettazione, Hoepli.