

## **VALUTAZIONE DELLA RUMOROSITÀ DEGLI IMPIANTI A FUNZIONAMENTO DISCONTINUO SECONDO LA NORMA UNI 11367**

Chiara Martina Pontarollo, Leonardo Luison

Dipartimento di Fisica Tecnica, Università degli Studi di Padova, Padova

### **1. Introduzione**

Ad oggi, i valori limite di legge per impianti a funzionamento continuo e discontinuo sono stabiliti dal DPCM 5/12/97, che tuttavia, per questi due requisiti, presenta notevoli lacune ed incongruenze. Un valido strumento, che si auspica verrà preso in considerazione in sede di riordino legislativo, è costituito dalla recente norma UNI 11367. In tale documento vengono definite delle classi di riferimento per vari parametri acustici, tra cui quelli relativi al rumore indotto dagli impianti continui e discontinui. Inoltre, nell'appendice D di tale norma, viene descritto un metodo di misura per il rumore d'impianto, metodo che è stato mutuato dalle norme UNI EN ISO 10052 e UNI EN ISO 16032.

Il procedimento proposto combina la semplicità di esecuzione delle prove, propria della norma UNI EN ISO 10052 (metodo di controllo), con l'aggiunta di alcune precisazioni derivate dalla norma UNI EN ISO 16032, riguardanti ad esempio le posizioni di misura. Inoltre, introduce numerose considerazioni sulla scelta degli impianti da valutare e sugli ambienti dove effettuare le verifiche.

In questo lavoro verranno descritti e commentati i contenuti dell'appendice D della norma UNI 11367, evidenziando le novità introdotte e le differenze rispetto alle due norme da cui il metodo di misura è stato derivato. Inoltre verranno illustrati, a titolo di esempio, i risultati di misure eseguite sugli impianti discontinui di due palazzine residenziali.

### **2. Descrizione del metodo**

#### **2.1 Descrittori del rumore d'impianto e parametri da rilevare**

Nella norma per la classificazione acustica delle unità immobiliari, i descrittori del rumore d'impianto cambiano rispetto al DPCM 5/12/97, e diventano i seguenti:

- livello di rumore corretto degli impianti a funzionamento continuo,  $L_{ic}$ ;
- livello di rumore corretto degli impianti a funzionamento discontinuo,  $L_{id}$ .

Tuttavia i parametri da rilevare nelle misure fonometriche sono di fatto gli stessi previsti dal decreto sui requisiti acustici passivi e cioè:

- il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A,  $L_{Aeq}$ , per il rumore stazionario prodotto dagli impianti a funzionamento continuo;
- il livello massimo di pressione sonora ponderato "A", rilevato con caratteristica dinamica "slow" (S),  $L_{ASmax}$ , per il rumore prodotto dagli impianti a funzionamento discontinuo e per le fasi non stazionarie del rumore prodotto dagli impianti a funzionamento continuo.

A tali parametri vanno poi sommati dei termini correttivi; e da ciò deriva la differenza rispetto alle grandezze attualmente utilizzate per definire i limiti di legge per gli impianti. Si sottintende che i due parametri indicati siano rilevati come valore globale e non in frequenza.

Le norme UNI EN ISO 10052 e UNI EN ISO 16032, essendo norme di carattere generale, prevedono una vasta gamma di possibili parametri misurabili; il metodo dell'appendice D, è invece limitato ai descrittori attualmente in uso in Italia, con l'introduzione però di alcune correzioni, che come già detto, non sono previste dal DPCM 5/12/97.

Infatti per gli impianti a funzionamento continuo è prevista sia una correzione che tiene conto del rumore residuo che una relativa al tempo di riverbero dell'ambiente ricevente. Per gli impianti discontinui, invece, è prevista solamente la correzione per il tempo di riverbero.

## 2.2 Definizione degli impianti da considerare

Come prima cosa, nell'appendice D della norma UNI 11367, viene specificato quali impianti debbano essere valutati, ai fini della classificazione acustica.

L'oggetto di valutazione è il rumore immesso negli ambienti abitativi di un'unità immobiliare da un impianto a servizio di una differente U.I. o a servizio dell'intero edificio. La seguente Tabella 1 riassume quali impianti sono valutabili, e quali non lo sono, con il metodo in esame.

Le definizioni di impianti a funzionamento continuo e discontinuo, nonché alcuni esempi di ciascuna di queste due tipologie di impianti, sono riportati in Tabella 2.

Al fine di limitare il numero di misure necessarie alla classificazione acustica, la norma indica di prendere in considerazione solo gli impianti, a funzionamento continuo e discontinuo, con le maggiori potenzialità di generazione e propagazione di rumore all'interno del sistema edilizio. Ad esempio, relativamente alla valutazione degli impianti discontinui di adduzione e scarico, si suggerisce di prendere in considerazione, per ciascun bagno, almeno i due impianti idraulici di portata maggiore (generalmente il WC e lo scarico vasca/doccia).

Tab 1 - Impianti continui e discontinui a cui è applicabile il metodo proposto

<i>Metodo applicabile a:</i>	<i>Metodo NON applicabile a:</i>
Rumore generato da impianti a servizio dell'intero sistema edilizio (centralizzati condominiali o d'uso collettivo) che viene immesso dagli ambienti accessori o di servizio di utilizzo comune o collettivo del sistema edilizio all'interno delle unità abitative (*)	Rumore generato all'interno di una unità immobiliare dagli impianti a servizio della stessa (nel caso di impianti aerulici è utilizzabile norma UNI 8199)
Rumore generato da impianti di singole unità immobiliari (impianti individuali o autonomi) che viene indotto in unità immobiliari diverse da quelle servite.	Rumore generato da installazioni non permanenti e rumore prodotto da elettrodomestici, sistemi di avviso e segnalazione, sicurezza o allarme
(*) Gli "ambienti accessori o di servizio, di utilizzo comune o collettivo del sistema edilizio", sono da intendersi come locali di possibile installazione (locali trasmittenti) degli impianti condominiali; gli ambienti abitativi delle U.I. sono i locali riceventi.	

Tab 2 - Distinzioni tra impianti continui e discontinui

<i>Tipo d'impianto</i>	<i>A FUNZIONAMENTO CONTINUO</i>	<i>A FUNZIONAMENTO DISCONTINUO</i>
<i>Tipo di emissione</i>	Emissione sonora stazionaria	Livello sonoro non costante nel tempo, con variazioni fluttuanti o intermittenti e caratterizzato da brevi periodi di funzionamento rispetto al tempo di inattività durante l'arco di una giornata
	Il livello di pressione sonora rilevato con caratteristica dinamica "fast" (F) subisce oscillazioni non maggiori di 5 dB per tutta la durata del ciclo operativo o del tempo di funzionamento	Il livello di pressione sonora rilevato con caratteristica dinamica "fast" (F) varia in modo aleatorio con oscillazioni maggiori di 5 dB o presenta un'alternanza di rumori stazionari e fluttuanti di varia durata e livello sonoro
<i>Esempi</i>	Impianti di riscaldamento, raffrescamento, climatizzazione, ventilazione meccanica, aspirazione centralizzata	Impianti sanitari, di scarico, ascensori, montacarichi, chiusure automatiche
<i>Casi particolari che rientrano nella tipologia indicata</i>		Le fasi non stazionarie del rumore prodotto dagli impianti a funzionamento continuo, quali la fase di avviamento e le fasi associabili a rumori di breve durata (durata minore di 60 s), a condizione che i livelli di pressione sonora sono più elevati rispetto a quelli di regime.

### 2.3 Definizione degli ambienti in cui effettuare le misure

Un punto importante, sul quale sia il DPCM 5/12/97, sia le norme UNI EN ISO 10052 e UNI EN ISO 16032, non danno indicazioni precise, è l'individuazione degli ambienti dove rilevare il rumore degli impianti. Nella norma UNI 11367 viene specificato che gli ambienti riceventi, nei confronti del rumore d'impianto, devono essere degli ambienti abitativi, con dimensioni sufficienti per l'effettuazione delle misure. Le distanze minime per le misure dei livelli, sono indicate nell'appendice D, mentre quelle per la misura dei tempi di riverbero, nella norma UNI EN ISO 3382.

Si esclude la valutazione del rumore d'impianto utilizzando, come ambienti riceventi, locali accessori o di servizio quali sgabuzzini o altri bagni. Questi vani possono, invece, essere ambienti trasmettenti e cioè luoghi d'installazione di impianti da valutare: ad esempio questo potrebbe essere il caso di una centrale termica con installata una caldaia.

Per la corretta scelta dell'ambiente ricevente, in cui misurare il rumore d'impianto, vanno considerate la posizione dei passaggi impiantistici e delle componenti principali degli impianti stessi.

In generale, nella valutazione del rumore indotto dagli impianti, sono da preferire gli ambienti acusticamente verificabili di un'unità immobiliare in cui vi sia la presenza di un elemento di partizione orizzontale o verticale che contenga o supporti elementi impiantistici.

Alcune ulteriori specificazioni sull'ambiente ricevente da utilizzare, per la valutazione di impianti di adduzione e scarico e per impianti meccanici, sono riassunte in Tabella 3.

Comunque, se si riscontrano situazioni anomale nell'emissione sonora delle sorgenti impiantistiche o nelle condizioni di esercizio degli impianti, viene lasciata la possibilità di eseguire prove supplementari al fine di classificare l'unità immobiliare.

Tab 3 – Criteri per la scelta dell'ambiente ricevente per alcune tipologie di impianti discontinui.

<i>Tipo di impianto</i>	<i>Impianti idraulici di adduzione e scarico</i>	<i>Impianti meccanici</i>
<i>Ambiente (acusticamente verificabile) da preferire per l'esecuzione delle misure (ambiente ricevente)</i>	Ambiente <u>posto al livello immediatamente inferiore</u> rispetto a quello dell'unità immobiliare servita dall'impianto in esame	Ambiente <u>posto allo stesso livello</u> dell'ambiente accessorio o di servizio o dell'U.I. servita dall'impianto in esame
	Nell'ambiente da sottoporre a verifica deve essere presente almeno un elemento tecnico caratterizzato dal <u>transito o dalla prossimità di componenti della rete impiantistica</u> a servizio dell'unità immobiliare soprastante	Nell'ambiente da sottoporre a verifica deve essere presente almeno un elemento tecnico caratterizzato <u>dall'adiacenza o dalla prossimità con componenti d'impianto</u> a servizio di una unità immobiliare adiacente o dell'intero sistema edilizio
<i>Altri ambienti possibili</i>	Se questo non è possibile o non è rappresentativo delle condizioni di propagazione del rumore dell'impianto, è possibile individuare gli ambienti di misura in unità immobiliari che si trovano allo stesso livello dell'unità immobiliare servita dall'impianto in esame.	Se questo non è possibile o non è rappresentativo delle condizioni di propagazione del rumore dell'impianto, è possibile individuare gli ambienti di misura in U.I. che si trovano a livelli diversi rispetto all'U.I. servita dall'impianto in esame

## 2.4 Posizioni di misura

Il livello sonoro ambientale si misura in almeno tre posizioni:

a) una posizione vicina all'angolo apparente formato dalle superfici dell'ambiente più prossimo alla posizione o al percorso dell'installazione impiantistica in esame, ovvero in cui risulta massimo l'effetto del rumore indotto nell'ambiente ricevente, preferibilmente ad un'altezza compresa tra 1 m e 1,5 m ed una distanza di 0,5 m dalle pareti;

b) almeno due posizioni nel campo acustico riverberante dell'ambiente. La distanza minima tra ciascuna posizione e tra queste e la posizione d'angolo deve essere di almeno 1,5 m, mentre l'altezza rispetto al pavimento non deve eccedere 1,5 m. La distanza tra le posizioni microfoniche in campo diffuso e qualsiasi superficie dell'ambiente deve essere di almeno 0,75 m (in ambienti molto piccoli tale distanza può essere ridotta a 0,50 m).

Il microfono deve essere posizionato ad almeno 0,2 m da qualsiasi ostacolo.

La distanza di ciascuna posizione microfonica da qualsiasi altra sorgente sonora presente in ambiente (per esempio, prese di ventilazione) deve essere di almeno 1,5 m.

Non devono essere presenti arredi in prossimità della posizione d'angolo o schermi ed altri ostacoli tra questa e le superfici verticali ed orizzontali che delimitano l'ambiente.

In ciascuna delle tre posizioni vanno effettuate almeno due misurazioni distinte relative a cicli operativi dell'impianto in condizioni d'uso normali; quindi in totale sono necessarie almeno sei rilevazioni.

Le sei misure effettuate (due in posizione d'angolo e due in ciascuna posizione in campo diffuso) vanno mediate energeticamente tra loro.

## 2.5 Tempo di misura e cicli operativi

Il livello del rumore ambientale indotto dagli impianti deve essere rilevato in periodi di tempo nei quali il rumore residuo è il più basso possibile.

Le misure devono essere condotte in un intervallo di tempo sufficientemente lungo da fornire un valore rappresentativo della massima rumorosità. Per i cicli operativi dei diversi tipi di impianti, si fa riferimento alle indicazioni riportate in entrambe le norme UNI EN ISO 10052 e UNI EN ISO 16032.

## 2.6 Correzione per il rumore residuo (solo per gli impianti continui)

Ai fini della correzione per il rumore residuo, da effettuarsi solo per gli impianti continui, va misurato il livello di pressione sonora del rumore residuo immediatamente prima o immediatamente dopo la rilevazione del livello di pressione sonora ambientale indotto dagli impianti a funzionamento continuo in esame.

Il rumore residuo è determinato come livello di pressione sonora equivalente, ponderato A, rilevato come valore globale e misurato su un intervallo di tempo pari alla durata di un ciclo operativo di riferimento e comunque non minore di 30 s.

Vanno fatte almeno tre misure del rumore residuo, utilizzando ognuna delle tre posizioni microfoniche impiegate per la rilevazione del rumore indotto dall'impianto continuo in esame, e di queste va calcolata la media energetica.

Le relazioni da utilizzare per il calcolo del fattore correttivo  $K_1$ , sono le seguenti:

$$\Delta L = L_a - L_r$$

dove:

$L_a$  è il livello di pressione sonora ambientale, misurato con l'impianto attivo, [dB(A)];

$L_r$  è il livello di pressione sonora del rumore residuo, in assenza dell'impianto, [dB(A)].

$$\text{Se } \Delta L > 10 \text{ dB,} \quad K_1 = 0$$

$$\text{Se } 4 \leq \Delta L \leq 10 \text{ dB,} \quad K_1 = -10 \lg(1 - 10^{-\Delta L/10})$$

$$\text{Se } \Delta L < 4 \text{ dB,} \quad K_1 = -2,2 \text{ dB}$$

Per gli impianti a funzionamento discontinuo, si è scelto di non effettuare la correzione per il rumore residuo. Infatti una delle problematiche che avrebbe posto tale operazione, sarebbe stata la correzione di un livello massimo ( $L_{ASmax}$ ) con un livello equivalente ( $L_{Aeq}$ ), cosa che peraltro è prevista nella norma UNI EN ISO 16032, ma che non è metrologicamente corretta. D'altra parte non sarebbe stato significativo, neppure valutare il rumore residuo mediante un livello massimo. Quindi, date le problematiche di misura riscontrate, per gli impianti discontinui è stato deciso di trascurare tale correzione.

## 2.7 Correzione per il tempo di riverbero (sia per impianti continui che per quelli discontinui)

I tempi di riverberazione dell'ambiente ricevente devono essere misurati, per bande di 1/3 d'ottava, in conformità alle norme della serie UNI EN ISO 3382.

Il termine di normalizzazione rispetto al tempo di riverberazione: è il seguente:

$$K_2 = -10 \lg(T/T_0)$$

dove:

- $T$  è la media aritmetica tra i dati dei tempi di riverberazione misurati nelle bande di terzi d'ottava comprese tra 100 Hz e 3 150 Hz, misurati nell'ambiente nelle condizioni in cui viene effettuata la verifica;
- $T_0$  è il tempo di riverberazione di riferimento variabile in funzione del volume,  $V$ , dell'ambiente, secondo i valori della seguente tabella.

Tab 4 - Tempi di riverberazione di riferimento in funzione del volume dell'ambiente

$V \leq 100 \text{ m}^3$	$T_0 = 0,5 \text{ s}$
$100 < V < 2 500 \text{ m}^3$	$T_0 = 0,05(V)^{0,5}$
$V \geq 2 500 \text{ m}^3$	$T_0 = 2,5 \text{ s}$

Il fatto di correlare il tempo di riverberazione di riferimento al volume è un interessante innovazione introdotta dall'appendice D, che permette di valutare correttamente il livello di impianto, anche nel caso di misure eseguite in ambienti di grandi dimensioni, che di fatto, avranno un tempo di riverbero molto maggiore di 0,5 s. Tale valore è infatti coerente solo per stanze con volume paragonabile a quello degli ambienti abitativi.

## 2.8 Calcolo dei parametri per la valutazione della classe per il rumore degli impianti.

Il livello di rumore corretto indotto dagli impianti a funzionamento continuo, si calcola applicando, al livello equivalente, ponderato A, derivante dalla media energetica sulle diverse posizioni, sia la correzione per il rumore residuo che quella per il tempo di riverbero, secondo la seguente relazione:

$$L_{ic} = L_{Aeq} + K_1 + K_2$$

Il livello di rumore corretto indotto dagli impianti a funzionamento discontinuo, si calcola applicando al livello massimo, rilevato con ponderazione A e con costante di tempo Slow, derivante dalla media energetica sulle diverse posizioni, la correzione per il tempo di riverbero:

$$L_{id} = L_{ASmax} + K_2$$

Va ricordato che, ai fini della classificazione acustica, ai valori finali così calcolati, va sommata l'incertezza estesa di misurazione, per determinare il valore utile del livello corretto indotto dagli impianti (continui e discontinui).

L'incertezza di misura, è trattata nell'appendice F della norma UNI 11367: i valori dell'incertezza estesa di misura, per le misure di impianti, sono riportati in Tabella 5.

Tab 5 – Valori dell'incertezza estesa di misura per i parametri di rumore d'impianto

	$L_{ic}$ dB(A)	$L_{id}$ dB(A)
$U_m$	1,1	2,4

## 2.9 Confronto tra i diversi metodi di misura del rumore d'impianto

Nelle due tabelle seguenti vengono confrontati tra loro il procedimento per la misura del rumore d'impianto dell'appendice D con quelli descritti delle norme UNI EN ISO 10052 e UNI EN ISO 16032.

La prima di queste due norme propone un metodo di controllo, mentre la seconda un metodo tecnico-progettuale.

Tab 6 –Confronto tra i diversi metodi per la misura del rumore d’impianto (1<sup>a</sup> parte)

	<i>UNI 11367, App.D</i>	<i>UNI EN ISO 10052</i>	<i>UNI EN ISO 16032</i>
<i>N° posizioni di misura</i>	3: 1 in angolo e 2 in campo diffuso	3: 1 in angolo e 2 in campo diffuso	3: 1 in angolo e 2 in campo diffuso
<i>N° di ripetizioni in ogni posizione</i>	Almeno 2	1	Determinato dalla differenza tra i risultati (espressi come valori globali) di due misure consecutive effettuate nella posizione d’angolo scelta
<i>Necessità di misure preliminari</i>	No	No	Misura del livello ponderato C per la scelta della posizione d’angolo da considerare
<i>Scelta della posizione d’angolo</i>	Angolo più vicino al passaggio impiantistico (o dove è massimo il rumore indotto)	Angolo apparente formato dalle superfici acustiche più rigide	Angolo della stanza con il più elevato livello (globale) ponderato C
<i>Altezze e distanze del microfono nella posizione d’angolo</i>	A 0,5 m dalle pareti e ad altezza compresa tra 1 m e 1,5 m	A 0,5 m dalle pareti (altezza non specificata)	A 0,5 m dalle pareti e dal pavimento (l’altezza può essere incrementata a 1 m o a 1,5 m in caso di presenza di ostacoli)
<i>Distanza da eventuali ostacoli</i>	> 0,2 m	Non specificata	> 0,2 m
<i>Distanza da eventuali sorgenti sonore</i>	>1,5 m	>1,5 m	Se il livello sonoro, in un angolo, è dominato da suono diretto di una sorgente nella stanza, questo non va preso in considerazione nella scelta della posizione d’angolo
<i>Posizioni in campo riverberato</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distanza tra le due posizioni in campo riverberato &gt; 1,5 m</li> <li>• Distanza delle posizioni in campo diffuso da ogni superficie &gt; 0,75 m (eventualmente riducibile a 0,5 m in piccoli ambienti)</li> <li>• <math>h &lt; 1,5</math> m</li> </ul>	Nessuna indicazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distanza tra le due posizioni in campo riverberato &gt; 1,5 m</li> <li>• Distanza delle posizioni in campo diffuso da ogni superficie &gt; 0,75 m (eventualmente riducibile a 0,5 m in piccoli ambienti)</li> <li>• <math>0,5 &lt; h &lt; 1,5</math> m</li> </ul>
<i>Parametro da misurare per gli impianti continui</i>	$L_{Aeq}$ , misurato come valore globale	$L_{Aeq}$ o $L_{Ceq}$ , misurato come valore globale	$L_{Aeq}$ o $L_{Ceq}$ , misurato per bande d’ottava, registrando i valori lineari nell’intervallo di frequenza da 63 a 8000 Hz, se si utilizza la ponderazione A, da 31,5 a 8000 Hz se si usa la ponderazione C

Tab 7 –Confronto tra i diversi metodi per la misura del rumore d’impianto(2<sup>a</sup> parte)

	<i>UNI 11367, App.D</i>	<i>UNI EN ISO 10052</i>	<i>UNI EN ISO 16032</i>
<i>Parametro da misurare per gli impianti discontinui</i>	$L_{ASmax}$ , misurato come valore globale	Livello massimo misurato con costante di tempo Slow o Fast e con ponderazione A o C, misurato come valore globale	Livello massimo misurato con costante di tempo Slow o Fast e con ponderazione A o C, misurato per bande d’ottava, registrando i valori lineari da 63 a 8000 Hz, se si utilizza la ponderazione A, da 31,5 a 8000 Hz se si usa la ponderazione C
<i>Correzione per il rumore residuo</i>	Prevista solo per gli impianti a funzionamento continuo (va misurato il livello $L_{Aq}$ del rumore residuo, rilevato come valore globale)	Nessuna	Sia per gli impianti continui che per quelli discontinui. Il rumore residuo va rilevato come livello equivalente lineare, misurato per bande d’ottava. La correzione viene eseguita in frequenza
<i>Misura del rumore residuo</i>	La durata della misura dev’essere di almeno 30 s. Va fatta almeno 1 misura in ciascuna delle 3 posizioni utilizzate per rilevare i livelli dell’impianto. Le misure vanno mediate energeticamente	Non prevista	La durata della misura dev’essere di almeno 30 s. Va fatta almeno 1 misura in ciascuna delle 3 posizioni utilizzate per rilevare i livelli dell’impianto. Le misure vanno mediate energeticamente
<i>Intervalli di <math>\Delta L</math> (differenza tra il livello d’impianto e di rumore residuo) per cui è prevista la correzione</i>	Correzione solo per gli impianti continui, se $\Delta L$ è compreso tra 4 e 10 dB. Per $\Delta L < 4$ dB, la correzione massima è di 2,2 dB	Correzione non prevista	Correzione da eseguire se $\Delta L$ è compreso tra 4 e 10 dB. Per $\Delta L < 4$ dB, la correzione massima è di 2,2 dB
<i>Correzioni per il tempo di riverbero</i>	$K_2 = -10 \cdot \log(T/T_0)$ con $T_0$ dato in funzione del volume dell’ambiente ricevente	Correzione con il tempo di riverbero $L_{nT} = L - k$ Correzione con l’area di assorbimento equivalente $L_n = L - k - 10 \log(A_0 T_0 / (0,16V))$ con $k = 10 \log(T/T_0)$ ( $T_0 = 0,5$ s, $A_0 = 10$ m <sup>2</sup> )	Correzione con il tempo di riverbero $L_{nT} = L - 10 \log(T/T_0)$ Correzione con l’area di assorbimento equivalente $L_n = L - 10 \log((A_0 T) / (0,16V))$ ( $T_0 = 0,5$ s, $A_0 = 10$ m <sup>2</sup> )
<i>Modalità di determinazione del tempo di riverbero</i>	Il tempo di riverbero T da usare per la correzione è la media aritmetica dei valori misurati nelle bande di 1/3 d’ottava da 100 a 3150	Il tempo di riverbero T da usare per la correzione è la media aritmetica dei valori misurati per le bande di ottava di 500 Hz, 1 kHz e 2 kHz. In alternativa si possono utilizzare i valori del fattore di correzione k, tabulati in funzione del tipo di ambiente e del suo volume.	Il tempo di riverbero è misurato in ottave, da 63 a 8000 Hz. La correzione è eseguita frequenza per frequenza. Nella banda dei 31,5 Hz non si effettua la correzione per il tempo di riverbero.

### 3. Descrizione delle misure sulla prima palazzina (palazzina E1)

La prima palazzina in cui sono state eseguite le misure degli impianti discontinui è la palazzina E1. Le pareti di tale edificio sono costruite con blocchi di laterizio ed i solai sono in laterocemento, con controsoffitto radiante nella parte inferiore. In Figura 1 è rappresentata la pianta del piano tipo dell'edificio, con le denominazioni delle stanze. Tratteggiati sono indicati gli ambienti utilizzati per rilevare la rumorosità degli impianti dei bagni al piano superiore. In Figura 2 è riportata invece una sezione dell'edificio analizzato con schematizzata la direzione di effettuazione delle misure.

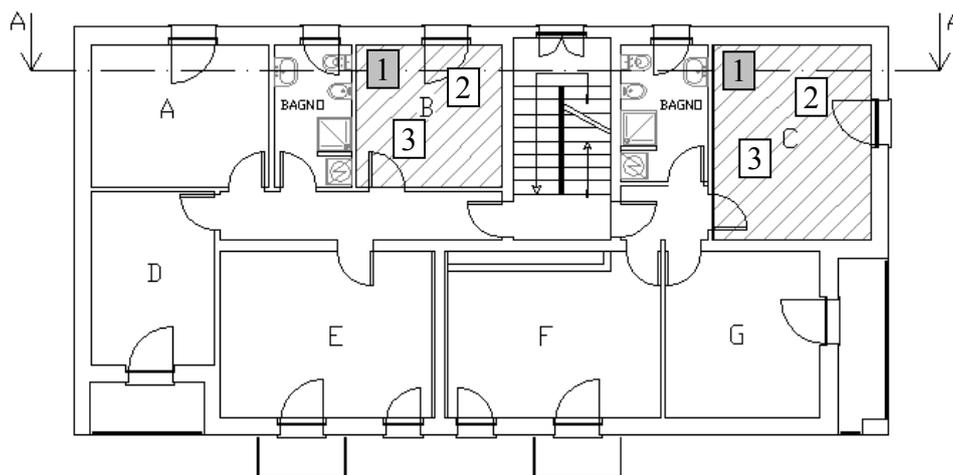


Figura 1 – Pianta del piano tipo della palazzina E1

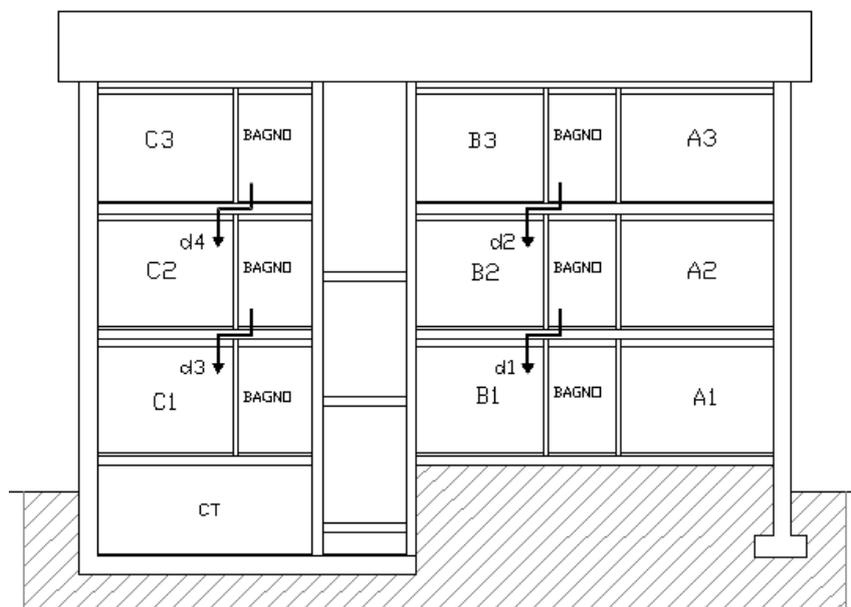


Figura 2 – Palazzina E1, sezione A-A

Seguendo le indicazioni dell'appendice C, sono stati valutati solo gli impianti dei bagni caratterizzati dalla maggior portata, quindi sono state eseguite le misure per gli scarichi dei WC, trascurando gli scarichi dei lavabi e dei bidet. Non è stato invece pos-

sibile valutare la rumorosità dovuta alle docce a causa dell'assenza dei box, come si vede in una delle immagini di Figura 3.

Non sono stati considerati gli impianti dei bagni al primo piano, dato che non era possibile individuare ambienti abitativi di differenti U.I., dove eseguire le misure, né al livello inferiore, né allo stesso livello.



Figura 3 – Immagini delle misure nei bagni della palazzina E1. A partire da sinistra: uno dei bagni, il particolare di una delle docce (priva del box), ed un esempio di posizionamento del microfono per la misura d'angolo.

Il problema principale nell'esecuzione delle misure è stato l'elevato livello di rumore esterno, dovuto in alcuni casi al traffico stradale e in altri casi ai lavori nei cantieri edili limitrofi. Quindi è stato necessario eseguire parte delle misure di sera, per minimizzare l'influenza del rumore residuo.

In particolare l'attività dei cantieri causava un livello di pressione sonora molto elevato alle basse frequenze. In tali condizioni, l'applicazione, in alternativa al metodo dell'appendice D, della norma UNI EN ISO 16032, avrebbe posto dei problemi, soprattutto per la scelta della posizione d'angolo in base alla misura del livello massimo ponderato C,  $L_{CSmax}$ . Infatti, mentre il picco dovuto all'azionamento dello scarico, era ben visibile, se letto come livello ponderato A, nella maggior parte dei casi non era invece rilevabile con la ponderazione C. Ciò si può osservare in alcuni dei grafici degli andamenti temporali, in cui le misure sono state riportate sia come  $L_{ASmax}$  che come  $L_{CSmax}$ .

### 3.1 Misure nella stanza B1, della palazzina E1

Come indicato nella norma UNI 11367, sono state eseguite sei misure, due per ognuna delle tre posizioni microfoniche. In Tabella 8 si leggono i livelli massimi ( $L_{ASmax}$ ) di ogni misura, mentre in Figura 4 sono riportati i relativi andamenti temporali.

La Tabella 9 contiene i valori del tempo di riverbero, da 100 a 3150 Hz e il relativo valore medio.

Tab.8 – Livelli massimi ponderati A, e relativa media energetica

$L_{ASmax}$ [dB(A)]	Posizione 1	Posizione 2	Posizione 3	Media energetica
Misura 1	38,1	37,5	37,1	37,7
Misura 2	38,2	37,8	37,5	

Tab.9 – Tempo di riverbero da 100 a 3150 Hz e valore medio

$f$ [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500
$T_{rev}$ [s]	1,98	1,59	1,83	2,03	1,94	1,23	1,31	1,3
$f$ [Hz]	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$T_{rev}$ [s]	1,37	1,47	1,52	1,54	1,53	1,51	1,41	1,4
Valore medio [s]	1,55							

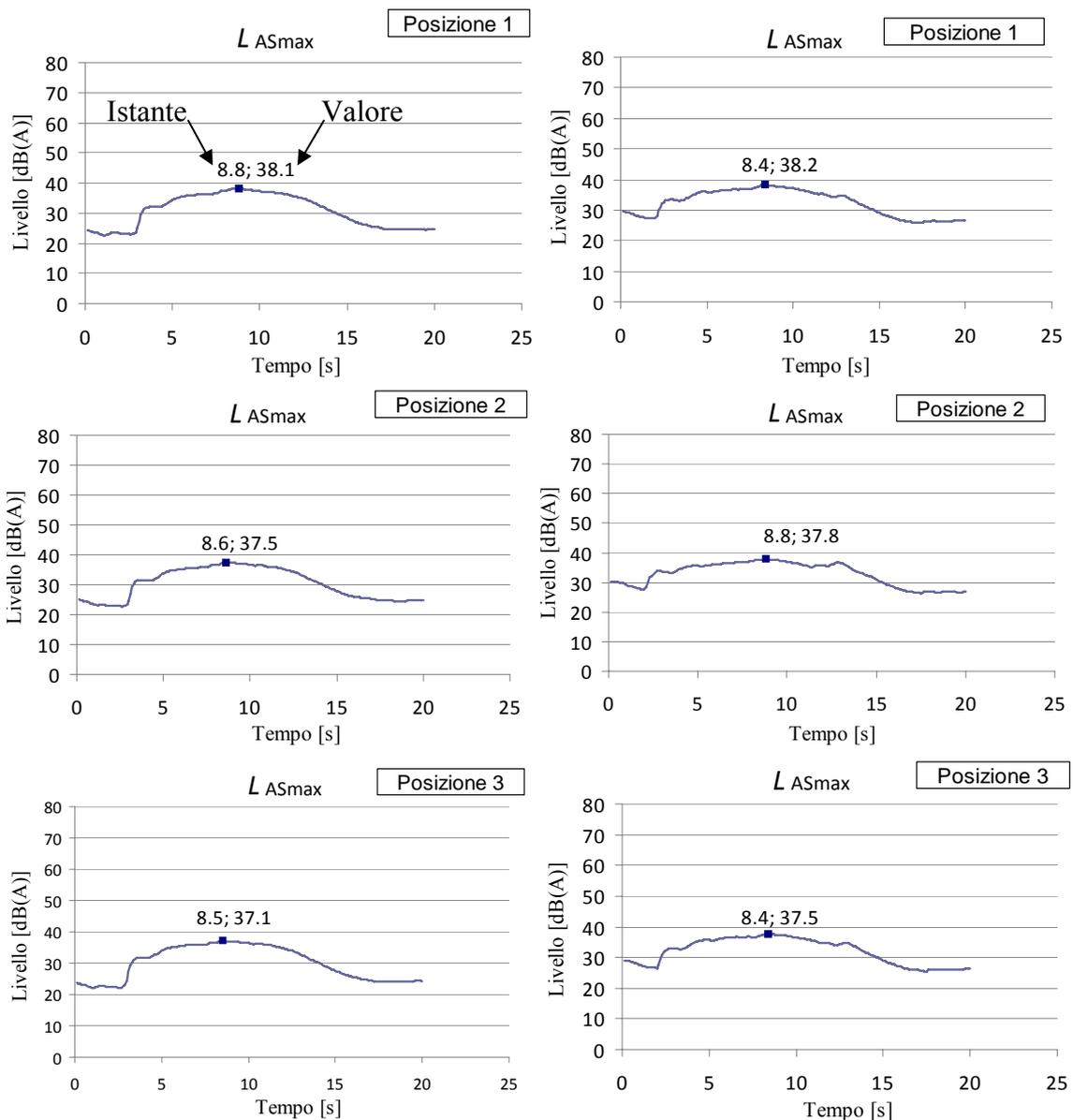


Figura 4 – Livelli nella posizione d'angolo (posizione 1) e nelle due posizioni in campo diffuso (posizioni 2 e 3), per le due ripetizioni della misura

Il fattore di correzione per il tempo di riverbero  $K_2$ , ed il livello d'impianto corretto  $L_{id}$  si calcolano mediante le seguenti relazioni:

$$K_2 = -10\log(T/T_0) = -10\log(1,55/0,5) = -4,9 \text{ dB}$$

$$L_{id} = L_{ASmax} - K_2 = 37,7 - 4,9 = 32,8 \text{ dB}$$

### 3.2 Misure nella stanza B2, della palazzina E1

Utilizzando il metodo della norma UNI 11367, il livello massimo ponderato C non va considerato e nel seguente andamento temporale, viene riportato solo a titolo di esempio, al fine di evidenziare le differenze tra le diverse normative. Osservando la Figura 5, non è possibile stabilire con certezza se i picchi dei livelli ponderati A e ponderati C siano relativi allo stesso evento: nella curva del livello  $L_{ASmax}$ , il rumore dovuto all'impianto inizia dopo circa 5 secondi ed è preceduto e seguito da un livello residuo stazionario. Invece, dalla curva del livello  $L_{CSmax}$ , l'evento non è chiaramente individuabile, poiché i livelli residui sono molto alti e variabili.

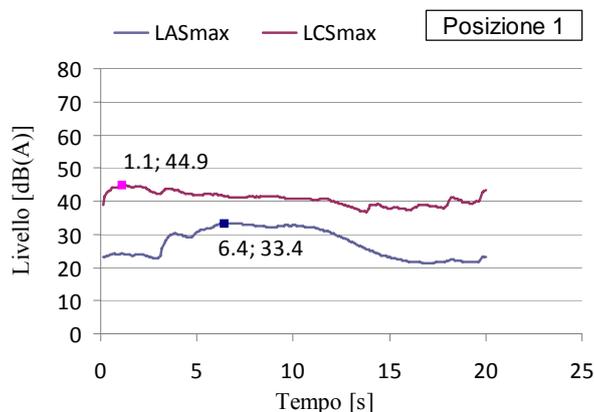


Figura 5 – Esempio di andamento temporale dei livelli nella posizione d'angolo (posizione 1), rilevati sia con ponderazione A che con ponderazione C

I livelli misurati, sono riportati in tabella 10. Per la posizione d'angolo sono state effettuate tre ripetizioni invece che due: è corretto considerarle tutte in quanto la norma stabilisce solo un limite minimo al numero di misure.

Tab.10 – Livelli massimi ponderati A, e relativa media energetica

$L_{ASmax}$ [dB(A)]	Posizione 1	Posizione 2	Posizione 3	Media energetica
Misura 1	33,4	32,2	31,9	32,5
Misura 2	32,5	32,3	32,5	
Misura 3	32,8			

Il tempo di riverbero medio  $T$  è uguale a 1,61 s, il fattore di correzione per il tempo di riverbero  $K_2$  risulta -5,1 dB ed il livello corretto d'impianto  $L_{id}$  è pari a 27,4 dB.

### 3.3 Misure nella stanza C1, della palazzina E1

I valori misurati nella stanza C1, sono riportati in Tabella 11.

Tab.11 – Livelli massimi ponderati A, e relativa media energetica

$L_{ASmax}$ [dB(A)]	Posizione 1	Posizione 2	Posizione 3	Media energetica
Misura 1	41,5	40,9	41,2	39,4
Misura 2	39,6	38,6	39,9	
Misura 3	36,4	36,7	35,2	

Il tempo di riverbero medio  $T$  è uguale a 2,08 s, il fattore di correzione per il tempo di riverbero  $K_2$  risulta -6,2 dB ed il livello corretto d'impianto  $L_{id}$  è pari a 33,2 dB.

### 3.4 Misure nella stanza C2, della palazzina E1

Nel caso delle misure nella stanza C2, era chiaramente identificabile il rumore della ricarica della cassetta del WC. Quindi è stato aumentato il tempo di misura in modo da rilevare l'intero ciclo dell'impianto. Anche in questo caso, il livello ponderato C risulta molto sensibile agli eventi esterni e il rumore dell'impianto non è chiaramente individuabile. A seguire si riportano i livelli misurati ed i calcoli per la determinazione del livello d'impianto corretto.

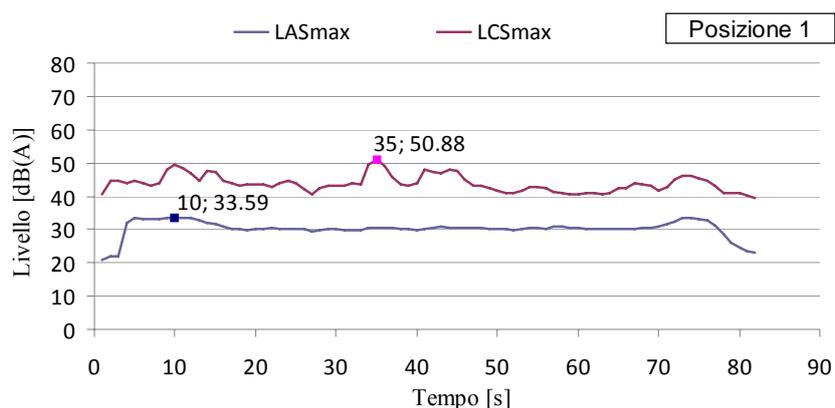


Figura 6 – Esempio di andamento temporale dei livelli nella posizione d'angolo (posizione 1), rilevati sia con ponderazione A che con ponderazione C

Tab.12 – Livelli massimi ponderati A, e relativa media energetica

$L_{ASmax}$ [dB(A)]	Posizione 1	Posizione 2	Posizione 3	Media energetica
Misura 1	33,59	32,82	32,88	33,26
Misura 2	33,81	32,72	33,63	

Tempo di riverbero medio:  $T = 2,60$  s

Fattore di correzione per il tempo di riverbero:  $K_2 = -7,2$  dB

Livello d'impianto corretto:  $L_{id} = 26,1$  dB

### 4. Descrizione delle misure sulla seconda palazzina (palazzina D)

La palazzina D è costruita con pareti e solai in cemento armato; come nel caso precedente, i solai hanno un controsoffitto radiante nella parte inferiore. In Figura 7 è rappresentata la pianta del piano tipo dell'edificio, con le denominazioni delle stanze. Gli ambienti utilizzati per rilevare la rumorosità degli impianti dei bagni, del piano immediatamente superiore, sono stati contrassegnati con un tratteggio; in pianta è indicata anche la distribuzione delle posizioni microfoniche.

In Figura 8 sono riportate alcune immagini scattate durante le misure.

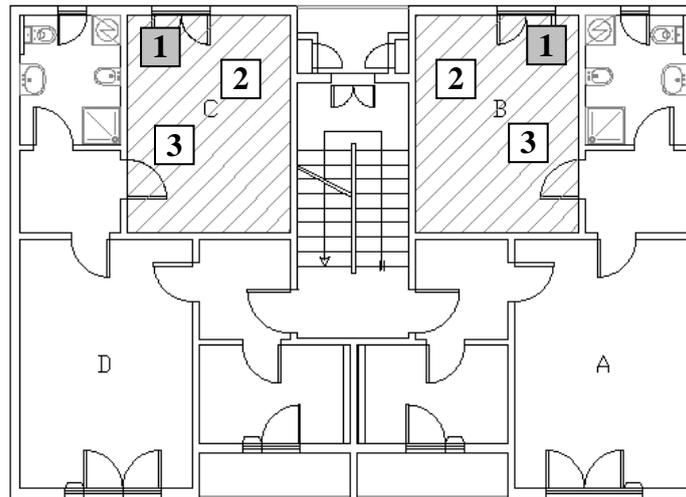


Figura 7 – Pianta del piano tipo della palazzina D



Figura 8 – Palazzina D, immagini di wc e doccia di uno dei bagni ed esempio di posizionamento del microfono per una misura in campo diffuso

#### 4.1 Misure nella stanza B1, della palazzina D

Sia nella stanza B1 che nella stanza B2, i rilievi microfonicici sono risultati molto disturbati dai rumori esterni. Quando possibile, gli eventi estranei, sono stati scorporati, mantenendo la parte restante della misura. In alcuni casi, però, non è stato possibile distinguere il rumore residuo dal rumore d'impianto, per cui tali misure sono state scartate. Questo è il motivo per cui, per alcune posizioni, è riportato un solo valore di  $L_{ASmax}$ , invece di due.

Tab.13 – Livelli massimi ponderati A, e relativa media energetica

$L_{ASmax}$ [dB(A)]	Posizione 1	Posizione 2	Posizione 3	Media energetica
Misura 1	29,57	29,16	28,99	29,5
Misura 2	30,28			

Il tempo di riverbero medio  $T$  è uguale a 1,46 s, il fattore di correzione per il tempo di riverbero  $K_2$  risulta -4,66 dB ed il livello corretto d'impianto  $L_{id}$  è pari a 24,9 dB.

In Figura 9 è riportato un esempio di misura, per cui è stato possibile lo scorporo dei livelli estranei. Dal livello ponderato A si vede comunque, chiaramente, l'andamento

temporale del ciclo operativo dell'impianto. L'abbaiare dei cani, che si è verificato ad inizio e a fine misura, comporta, nella curva del livello  $L_{ASmax}$ , solo un innalzamento del livello del rumore residuo agli estremi della misura.

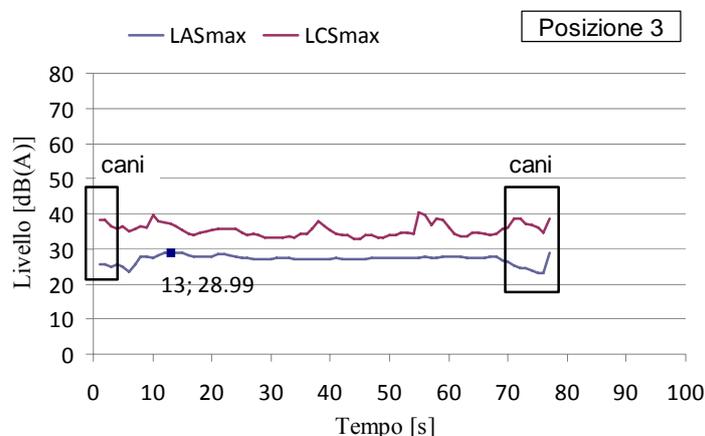


Figura 9 –Andamento temporale dei livelli in una delle posizioni in campo diffuso, rilevati sia con ponderazione A che con ponderazione C. Per questa misura è stato possibile l'eliminazione degli eventi estranei

#### 4.2 Misure nella stanza B2, della palazzina D

In Figura 10 è riportata una misura che è stato necessario scartare per la predominanza dell'evento estraneo sul rumore d'impianto, che di fatto non risulta identificabile. Anche in questa stanza, come per la precedente, per le due posizioni in campo diffuso, è presente un solo valore di  $L_{ASmax}$ , invece di due.

A seguire si riportano i livelli misurati ed i calcoli del livello d'impianto corretto.

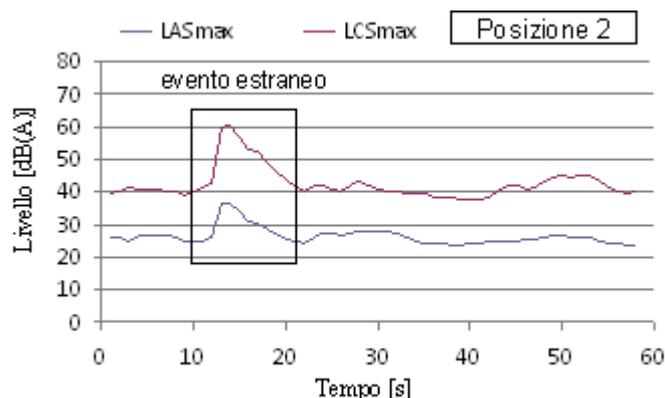


Figura 10 –Misura in cui non è stato possibile scorporare gli eventi estranei

Tab.14 – Livelli massimi ponderati A, e relativa media energetica

$L_{ASmax}$ [dB(A)]	Posizione 1	Posizione 2	Posizione 3	Media energetica
Misura 1	31,64	28,38	27,35	29,2
Misura 2	28,06			

Tempo di riverbero medio:  $T = 1,50$  s.

Fattore di correzione per il tempo di riverbero:  $K_2 = -4,78$  dB.

Livello d'impianto corretto:  $L_{id} = 24,4$  dB.

### 4.3 Misure nella stanza C1, della palazzina D

Per l'ultimo ambiente della palazzina D, dato che per i rilievi eseguiti nelle due stanze precedenti era stato necessario scartare numerose misure, si è deciso di aumentare il numero di ripetizioni in ciascuna posizione microfonica. In tal caso però i livelli residui, anche se elevati, erano più stazionari, almeno considerando il parametro  $L_{ASmax}$ , quindi le misure sono risultate tutte valide e sono state tutte utilizzate per il calcolo della media energetica.

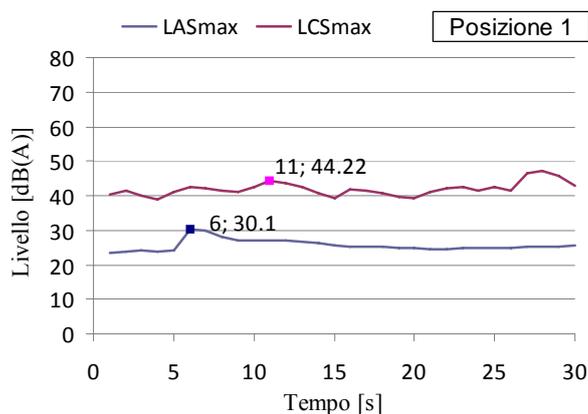


Figura 11 – Esempio di andamento temporale dei livelli nella posizione d'angolo (posizione 1), rilevati sia con ponderazione A che con ponderazione C

Tab.15 – Livelli massimi ponderati A, e relativa media energetica

$L_{ASmax}$ [dB(A)]	Posizione 1	Posizione 2	Posizione 3	Media energetica
Misura 1	31,19	30,13	29,24	30,8
Misura 2	34,87	29,18	30,31	
Misura 3	30,1	29,65	30,75	
Misura 4		30,22	31,71	
Misura 5		29,66		
Misura 6		29,84		
Misura 7		30,53		
Misura 8		30,21		

Il tempo di riverbero medio  $T$  è uguale a 1,47 s, il fattore di correzione per il tempo di riverbero  $K_2$  risulta -4,7 dB ed il livello corretto d'impianto  $L_{id}$  è pari a 26,1 dB.

### 4.4 Misure nella stanza C2, della palazzina D

Non è stato possibile eseguire la misura del livello di rumore dovuto agli impianti discontinui dal bagno del terzo piano, verso l'ambiente C2 in quanto, al momento dei collaudi mancava il contatore dell'impianto idrico che quindi non poteva essere messo in funzione.

Di conseguenza, secondo le prescrizioni della norma UNI 11367, il requisito è stato contrassegnato con la sigla NV, cioè non verificabile.

## 5. Riepilogo delle misure

Va infine ricordato che ai risultati di livello di impianto corretto, ottenuti per le diverse unità immobiliari, va sommata incertezza estesa di misura  $U_m$ , come definita in Appendice F della norma UNI 11367; nel caso degli impianti discontinui,  $U_m$  è pari a 2,4 dB. In Tabella 16 sono riepilogati i valori misurati di  $L_{id}$  e i relativi valori utili, nonché la classe finale del requisito.

Tab.16 – Classificazione delle unità immobiliari

Stanza	Palazzina E1				Palazzina D			
	B1	B2	C1	C2	B1	B2	C1	C2
Valore misurato	32,8	27,4	33,2	26,1	24,9	24,4	26,1	NV
Valore utile	35,2	29,8	35,6	28,5	27,3	26,8	28,5	NV
Classe	III	I	III	I	I	I	I	NV

Si può notare che, nel caso della palazzina E1, si riscontra una diversa prestazione per gli impianti discontinui se la misura è effettuata dal 3° al 2° piano, piuttosto che dal 2° al 1°. Per gli ambienti B2 e C2 il requisito in esame risulta in classe I, mentre per le stanze al piano terra risulta in classe III. Ciò potrebbe essere dovuto alla vicinanza del piede della colonna di scarico negli appartamenti al piano primo (al livello inferiore, il seminterrato, sono presenti solo le cantine e la centrale termica).

Nella seconda palazzina, che differisce dalla prima per tipologia costruttiva, il requisito d'impianto si colloca in tutti e tre i casi misurati in classe I. Probabilmente, le differenze nel livello di rumore d'impianto, tra i due edifici, deriva da un diverso sistema di fissaggio e inserimento degli impianti nelle strutture.

## 6. Conclusioni

Il metodo proposto nell'appendice D della norma UNI 11367 risulta di facile applicazione. Operativamente esso risulta più simile alla procedura definita nella norma UNI EN ISO 10052, dato che i livelli vengono rilevati come valore globale e non in frequenza; tuttavia vengono introdotte delle differenze nella misura del tempo di riverbero, rilevato per bande di 1/3 d'ottava, e nella presenza di numerose specifiche su posizioni di misura, scelta degli impianti da analizzare e scelta degli ambienti in cui effettuare le misure. Inoltre, rispetto alla UNI EN ISO 10052, vengono chieste due ripetizioni della misura in ciascun punto invece che una sola.

Una nota positiva del metodo dell'appendice D, è che non è necessaria la ricerca della posizione d'angolo più rumorosa, com'è invece richiesto dalla norma UNI EN ISO 16032. In particolare, l'utilizzo del livello ponderato C per la scelta dell'angolo, è una condizione che allunga notevolmente i tempi necessari per i collaudi, dato che tale livello risulta in molti casi notevolmente influenzato dagli eventi esterni, rendendo estremamente difficoltoso il corretto riconoscimento del picco massimo dovuto agli impianti.

Una raccomandazione finale, valida per tutte e tre le norme per le misure d'impianto, è l'attenta analisi degli andamenti temporali registrati. Utilizzare il livello massimo ponderato A, rilevato automaticamente dai fonometri, senza controllare le storie temporali, può portare ad errori di misura rilevanti, soprattutto in presenza di rumore residuo elevato e non stazionario.