

UN CRITERIO DI CAMPIONAMENTO NELLA DETERMINAZIONE DEI REQUISITI ACUSTICI DELLE UNITÀ IMMOBILIARI

Luca Barbaresi (1), Massimo Garai (1)

1) Università degli Studi di Bologna – Facoltà di Ingegneria - DIENCA, Bologna

1. Introduzione

La determinazione più affidabile dei requisiti acustici passivi degli edifici si basa sulle misurazioni in opera ad edificio finito, conformemente alle note norme UNI EN ISO di settore. A prescindere dalle molte problematiche sollevate dal D.P.C.M. 5/12/1997 [1], tuttora in attesa di aggiornamento legislativo, è però chiaro che anche le misurazioni più affidabili sono affette da incertezza [3, 4]. Inoltre, è poco realistico pensare di poter misurare le prestazioni acustiche di tutti gli elementi tecnici che compongono un intero edificio, tranne forse che nel caso di villette unifamiliari. Per questo la recente norma UNI 11367 [2] sulla classificazione acustica delle unità immobiliari considera in maniera sistematica sia l'incertezza di misura sia quella di campionamento. La prima, dipendente dal processo di misura, è univocamente fissata nel prospetto F.1 della norma associando ad ogni valore misurato di un requisito acustico il corrispondente scarto tipo di riproducibilità dell'indice di valutazione [2]. La seconda invece nasce dal fatto che, nel caso di sistemi edilizi caratterizzati da tipologie seriali, cioè con elementi tecnici che si ripetono, è possibile effettuare prove solo su *alcuni* degli elementi tecnici costituenti l'edificio, estendendo poi il risultato a *tutti* gli altri elementi tecnici. I criteri di campionamento sono descritti nell'appendice G della UNI 11367 [2]. Per sistemi edilizi a tipologia seriale si intendono quelli con elementi tecnici che si ripetono secondo schemi che dipendono dalle caratteristiche distributive, organizzative e funzionali degli ambienti delle unità immobiliari. In questi casi il campionamento consente di contenere il numero complessivo di determinazioni sperimentali necessarie per la valutazione della classe acustica delle unità immobiliari. Occorre anche ricordare che il campionamento degli elementi tecnici da sottoporre a prova si basa sull'individuazione di opportuni "gruppi omogenei" di detti elementi.

Il metodo di campionamento, sebbene permetta di velocizzare le operazioni di misura per la classificazione acustica degli edifici, presenta problematiche peculiari, connesse con l'inevitabile variabilità dei risultati delle singole misurazioni. Infatti, analizzando in alcuni casi concreti i risultati ottenuti applicando il numero minimo di misurazioni previsto dal metodo di campionamento della UNI 11367, si può notare come a volte

questi siano poco soddisfacenti. Esiste uno scostamento, in alcuni casi molto evidente, tra i risultati ottenuti effettuando le misurazioni relative a tutti gli elementi tecnici utili alla classificazione o, viceversa, effettuando le misurazioni solo un campione di ogni tipologia di elementi tecnici formato così come attualmente raccomandato dalla UNI 11367.

Nel presente lavoro si intende effettuare un'analisi specifica delle cause che provocano i suddetti scostamenti in alcuni casi concreti, al fine di proporre un criterio, da associare all'utilizzo del metodo di campionamento, che impedisca il verificarsi di risultati anomali.

2. Risultati ottenuti nella classificazione acustica di un edificio realizzato a Bologna

È stata applicata la classificazione acustica delle unità immobiliari ad un edificio, ad uso prevalentemente residenziale, realizzato a Bologna, composto da 16 unità immobiliari, distribuite su quattro piani e servite da due vani scala (figure 1 e 2).

Sono stati utilizzati due metodi differenti per giungere alla classificazione acustica, per singoli requisiti e globale, delle varie unità immobiliari analizzate. Il primo metodo consiste nel procedere al calcolo applicando il metodo di campionamento, introdotto dalla norma UNI 11367, che prevede la possibilità di limitare il numero di misurazioni da effettuare individuando gruppi di elementi tecnici nominalmente uguali per i quali è possibile eseguire un numero contenuto di misurazioni ed estendendo poi il risultato all'intero gruppo omogeneo. Per l'esempio in esame, nell'applicazione del metodo di campionamento sono state eseguite le misurazioni *minime* necessarie alla validità dello stesso. Il secondo metodo utilizzato, invece, considera di realizzare *tutte* le singole misurazioni possibili, per ognuno degli elementi tecnici utili alla classificazione. I risultati ottenuti applicando i due metodi sono differenti e in alcuni casi l'utilizzo del campionamento si è rivelato particolarmente dequalificante per la classificazione di talune unità immobiliari. Nelle tabelle 1 e 2 si riportano i suddetti risultati, in riferimento alla classificazione per requisito ed quella globale.



Figura 1 – Sezione dell'edificio esaminato



Figura 2 – Piante dell'edificio esaminato

Tabella 1 - Risultati della classificazione acustica secondo UNI 11367 ottenuti applicando il metodo di campionamento con il numero minimo di misurazioni

Unità immobiliare	$D_{2m,nT,w}$	R'_w	L'_{nw}	L_{id}	CLASSE GLOBALE
1-A	IV	IV	III	NC	IV
1 bis-A	IV	IV	III	NP	IV
2-A	NC	IV	III	NC	IV
3-A	IV	III	III	NC	NC
3 bis-A	IV	III	II	NP	III
4-A	NC	IV	III	NC	IV
5-A	IV	III	III	III	III
6-A	NC	IV	III	IV	IV
7-A	III	III	NP	NP	III
1-B	IV	III	NC	III	NC
2-B	IV	III	NC	III	IV
3-C	IV	III	NC	III	NC
4-B	IV	III	NC	III	IV
5-B	IV	III	NC	III	NC
6-B	IV	III	III	III	III
7-B	III	III	NP	NP	III

Tabella 2 - Risultati della classificazione acustica secondo UNI 11367 ottenuti misurando tutti gli elementi tecnici singolarmente

Unità immobiliare	$D_{2m,nT,w}$	R'_w	L'_{nw}	L_{id}	CLASSE GLOBALE
1-A	IV	III	III	IV	IV
1 bis-A	IV	IV	III	NP	IV
2-A	IV	III	IV	III	IV
3-A	IV	III	II	IV	III
3 bis-A	IV	III	II	NP	III
4-A	III	III	I	III	III
5-A	IV	III	III	III	III
6-A	III	III	III	IV	III
7-A	III	III	NP	NP	III
1-B	IV	II	IV	III	III
2-B	IV	III	III	III	III
3-C	IV	II	I	III	III
4-B	IV	III	III	III	III
5-B	III	III	III	III	III
6-B	IV	III	III	III	III
7-B	III	III	NP	NP	III

Come è possibile notare, le classi evidenziate con il colore rosso nella tabella 1 indicano i risultati più scarsi forniti dal campionamento, rispetto alle misurazioni singole. Delle 16 unità immobiliari appartenenti all'edificio, 10 hanno subito un declassamento di uno o più requisiti. Considerando il totale di 74 classi calcolate, tra requisiti e classi globali, il 22% risulta avere una classe immediatamente inferiore per le misurazioni effettuate con il metodo di campionamento rispetto alle misurazioni singole ed il 18% presenta un declassamento con un salto di due o più classi tra le misurazioni effettuate

con il campionamento e quelle singole. Solo in un caso la classe del requisito risulta migliore con il campionamento rispetto alle misurazioni singole.

Le osservazioni precedenti non implicano necessariamente un “errore” nel metodo di campionamento; viceversa, invitano a riflettere sull’attenta applicazione dello stesso. In particolare, data la complessità del metodo e le variabili che intervengono nel calcolo della classificazione acustica, è necessario eseguire delle verifiche per identificare le anomalie, capirne le cause e proporre un criterio per eliminarle o, quanto meno, ridurne gli effetti.

3. Analisi dei risultati ottenuti con il metodo del campionamento

Innanzitutto, per spiegare la differenza dei risultati nella classificazione che si ottengono applicando il metodo di campionamento e il metodo con misurazioni singole, è necessario risalire a monte, ovvero analizzare i risultati ottenuti per ogni elemento tecnico utilizzato; è da questi, infatti, che si arriva alla definizione delle varie classi acustiche.

Considerando un generico requisito prestazionale, nell’ipotesi di effettuare tutte le misurazioni, le prestazioni acustiche di un particolare elemento tecnico si determinano a partire dal valore misurato, corretto con l’incertezza estesa di misura stabilita nell’appendice F della norma. Il “valore utile” che si ottiene, quindi, è immediatamente impiegato per la classificazione di quel particolare requisito. Quando invece si utilizza il metodo di campionamento, per quegli elementi tecnici che appartengono ad un gruppo omogeneo, oltre alla correzione dovuta all’incertezza di misura è necessario apportare un’ulteriore correzione data dall’incertezza estesa di campionamento. È proprio a causa di questa seconda correzione che i risultati finali possono subire delle notevoli variazioni. Nella norma, infatti, a differenza dell’incertezza di misura, che è fissata una volta per tutte e applicata a tutti i risultati, l’incertezza di campionamento dipende da diverse variabili e viene applicata solo agli elementi appartenenti allo specifico gruppo omogeneo (cfr. [2], appendici G e H).

Si ricorda, infatti, che l’incertezza estesa di campionamento si calcola come:

$$(1) \quad U_{sh} = k \cdot s_{sh} \quad [\text{dB}]$$

dove:

- k è il fattore di copertura (Prospetto H.1 della UNI 11367), tabulato rispetto al numero di elementi effettivamente misurati ed al livello di fiducia scelto;
- s_{sh} è lo scarto tipo di campionamento, in dB.

Per procedere nell’analisi dei risultati ottenuti con il campionamento, sui quali influisce l’incertezza estesa di campionamento, è necessario individuare le variabili del problema, ovvero:

- il numero di elementi tecnici sottoposti a misurazione rispetto al totale degli elementi presenti all’interno del gruppo omogeneo;
- il livello di fiducia scelto;
- le differenze numeriche tra i valori misurati.

Infatti, le prime due variabili sono necessarie per determinare il fattore di copertura k , mentre la prima e la terza variabile influiscono direttamente sul valore dello scarto tipo di campionamento.

Nel seguito, si procede esaminando alcuni gruppi omogenei relativi a diversi elementi tecnici utilizzati per la classificazione acustica delle unità immobiliari dell'edificio in esame ed analizzando le eventuali anomalie riscontrate.

3.1 Potere fonoisolante di partizioni verticali

Si pongono a confronto tre gruppi omogenei, formati ognuno da tre elementi, relativi alle misurazioni di R'_w (indice di valutazione del potere fonoisolante apparente), denominati R12, R21 e R31. Per questi tre gruppi i valori utili, ovvero i valori misurati corretti con l'incertezza di misura, si discostano tra loro all'interno del gruppo omogeneo rispettivamente di 1 dB, 2 dB e 3 dB.

Si procede al calcolo del risultato corretto anche dall'incertezza di campionamento, considerando di eseguire il numero minimo di misurazioni, ovvero 2 su 3, al variare del livello di fiducia (figura 3).

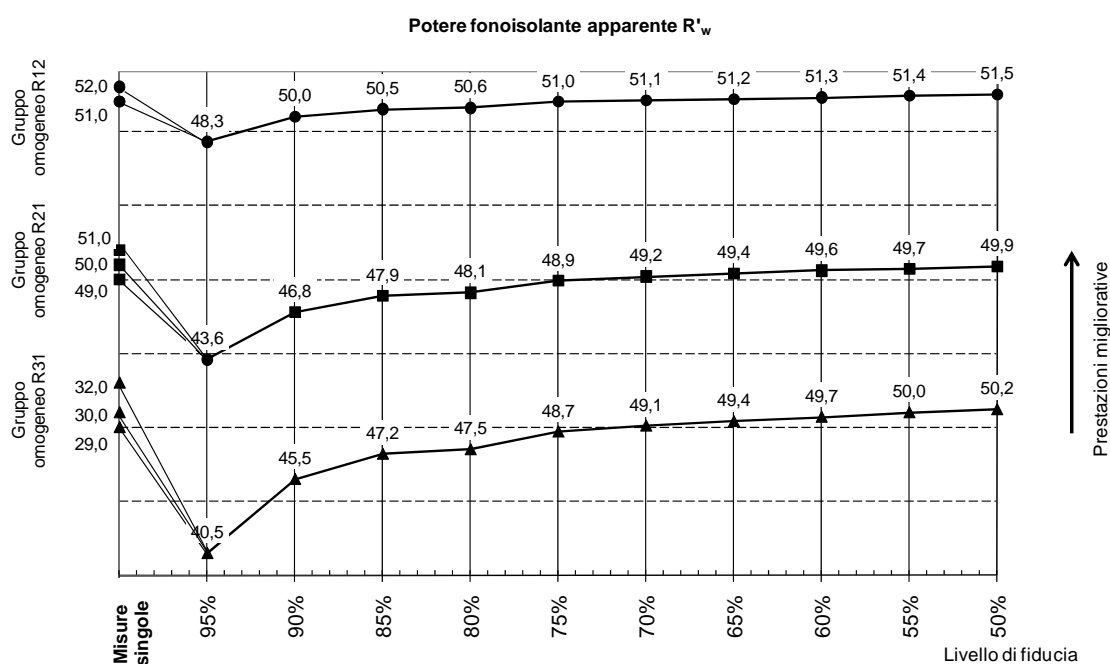


Figura 3 - Confronto tra i risultati ottenuti per i gruppi R12, R21 e R31

Osservando il grafico in figura 3, si può notare che, quando si applica un livello di fiducia minore o uguale al 75%, il risultato finale, ovvero il valore da assegnare a tutti gli elementi del gruppo omogeneo, assume valori prossimi o superiori al peggiore dei valori misurati. Ciò induce a ritenere che sia meglio escludere questi valori di livello di fiducia, in quanto si ritiene che, comunque, l'incertezza di campionamento, essendo stata introdotta a scopo cautelativo, debba portare ad una correzione in negativo dei valori misurati.

Per i valori del livello di fiducia maggiori di 75% si nota anche che la differenza tra i risultati che si ottengono ponendo il livello di fiducia pari all'80% e all'85% è limitata a 0,3 dB massimi. Quindi, tra le due alternative è preferibile scegliere il livello di fiducia maggiore, ovvero 85%.

Ponendo il livello di fiducia pari al 95%, è chiaro che i valori ottenuti sono eccessivamente penalizzanti, nonostante la differenza massima tra le misurazioni sia pari a 3 dB. Per quanto riguarda, invece, il calcolo ottenuto ponendo il livello di fiducia pari al

90%, si ottengono valori allineati a quello peggiore del gruppo fino a quando la differenza dei valori misurati è limitata, come per i gruppi R12 e R21. Per il gruppo R31, infatti, il risultato finale è inferiore al valore peggiore misurato di una quantità che supera la differenza tra i due valori iniziali.

Osservando questi primi risultati, riferiti a gruppi omogenei composti da un numero limitato di elementi tecnici, e con misurazioni abbastanza omogenee tra loro, si potrebbe ipotizzare che il livello di fiducia più accettabile da scegliere sia l'85%.

3.2 Isolamento acustico delle facciate

Si considerano due gruppi omogenei, denominati D21 e D13, sempre formati complessivamente da tre elementi tecnici, relativi alle misurazioni di $D_{2m,nT,w}$ (indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione). I risultati mostrati si riferiscono sempre alla situazione nella quale sono stati misurati solo 2 dei 3 elementi che compongono il gruppo omogeneo e si è analizzata la variazione dei risultati a seconda della scelta del livello di fiducia. In questo secondo caso, i valori utili ottenuti differiscono tra loro all'interno dello stesso gruppo omogeneo rispettivamente di 1 dB e di 5 dB.

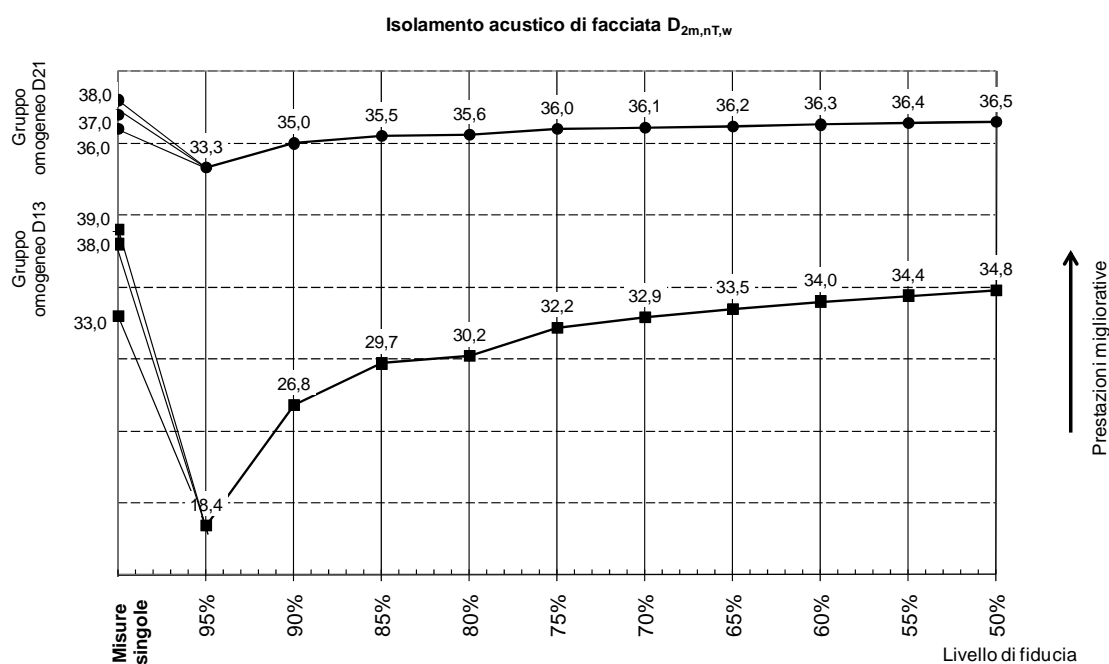


Figura 4 - Confronto tra i risultati ottenuti per i gruppi D21 e D13

Osservando il grafico in figura 4, è possibile giungere a delle conclusioni simili a quelle del precedente caso ed escludere i risultati ottenuti con livelli di fiducia pari o inferiori all'80%. Anche i risultati ottenuti ponendo un livello di fiducia pari al 95%, possono essere esclusi data l'eccessiva penalizzazione che arrecano al risultato finale.

Concentrando, quindi, l'attenzione su livelli di fiducia pari all'85% e al 90%, si ottengono valori accettabili in entrambi i casi per il gruppo D21. Per quanto riguarda, invece, il gruppo D13, i cui valori misurati differiscono di 5 dB, i risultati ottenuti ponendo una fiducia pari al 90% sono eccessivamente penalizzanti, mentre quelli relativi alla fiducia pari all'85% sono inferiori di 3,3 dB rispetto al peggiore valore misurato (29,7 dB contro 33 dB).

Osservando questi risultati, riferiti a gruppi omogenei composti da un numero limitato di elementi tecnici, si potrebbe ipotizzare che il livello di fiducia più accettabile da scegliere sia l'85%.

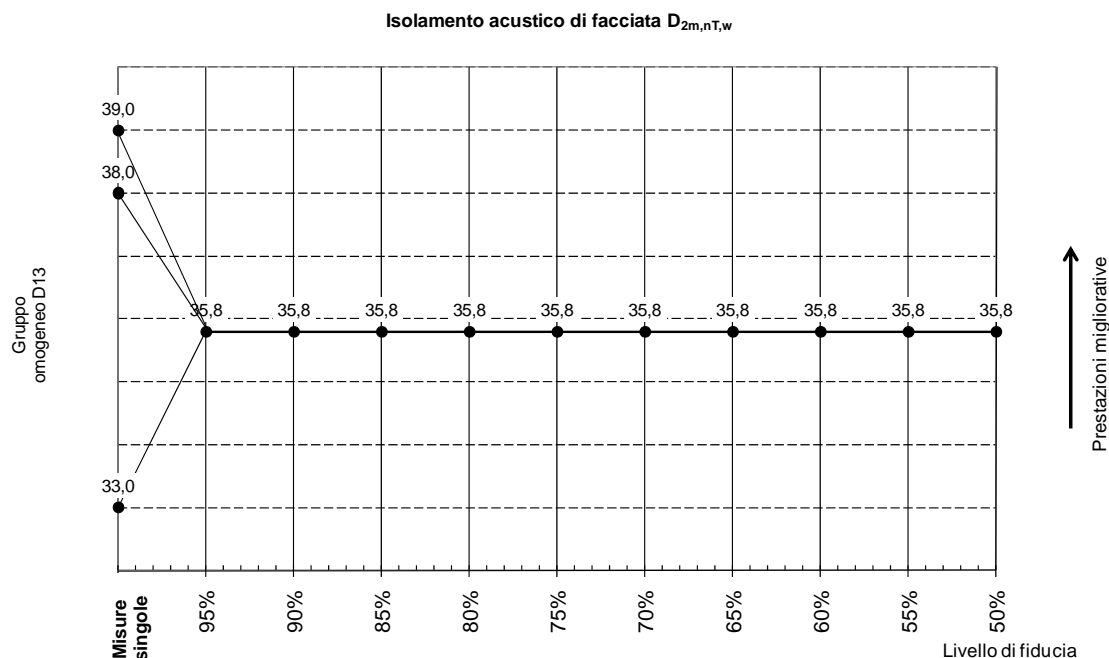


Figura 5 - Osservazioni sui risultati ottenuti misurando tutti gli elementi del gruppo D13

Un'altra valutazione è possibile osservando il grafico di figura 5. Si ipotizza di considerare, per il gruppo D13, i valori utili di tutti gli elementi del gruppo e il valore rappresentativo calcolato per il gruppo con il metodo di campionamento. Dato che il numero di elementi provati coincide con il numero di elementi che compongono il gruppo omogeneo, nel calcolo dell'incertezza estesa di campionamento s_{sh} assume valore nullo. Per questa ragione, anche il valore dell'incertezza estesa di campionamento U_{sh} si annulla, indipendentemente dal livello di fiducia scelto (cfr. eq. (1)). Quindi, il valore finale rappresentativo del gruppo omogeneo coincide con il valore della media energetica dei valori utili delle misurazioni effettuate. Si noti anche che per il valore peggiore misurato l'applicazione del metodo di campionamento indicato dalla norma UNI 11367 porta ad una condizione migliorativa della prestazione dell'elemento tecnico.

3.3 Livello di rumore di calpestio sui solai

Si considerano tre gruppi omogenei, formati nella valutazione di $L'_{n,w}$ (indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato). Si ricorda che in questo caso le prestazioni migliori risultano essere quelle con valori inferiori. I gruppi in esame sono L21, composto da 6 elementi, L22 e L23, composti da 4 elementi; in tutti i casi si è proceduto misurando il numero minimo di elementi, ovvero 2. Le misurazioni effettuate, già corrette con l'incertezza di misura, differiscono tra loro di 14 dB per il gruppo L21, 11 dB per il gruppo L22 e 3 dB per il gruppo L23.

Considerando i risultati ottenuti per il gruppo L23 (figura 6), composto da 4 elementi tecnici, ove i valori misurati differiscono tra loro di 3 dB, per un livello di fiducia dell'85% il risultato finale differisce dal valore peggiore di una quantità inferiore alla differenza tra i valori misurati.

Per gli altri due gruppi, invece, i risultati sono particolarmente scarsi, come si può notare nel grafico di figura 7. Con livelli di fiducia maggiori o uguali all'80% i valori che si ottengono sono chiaramente irreali.

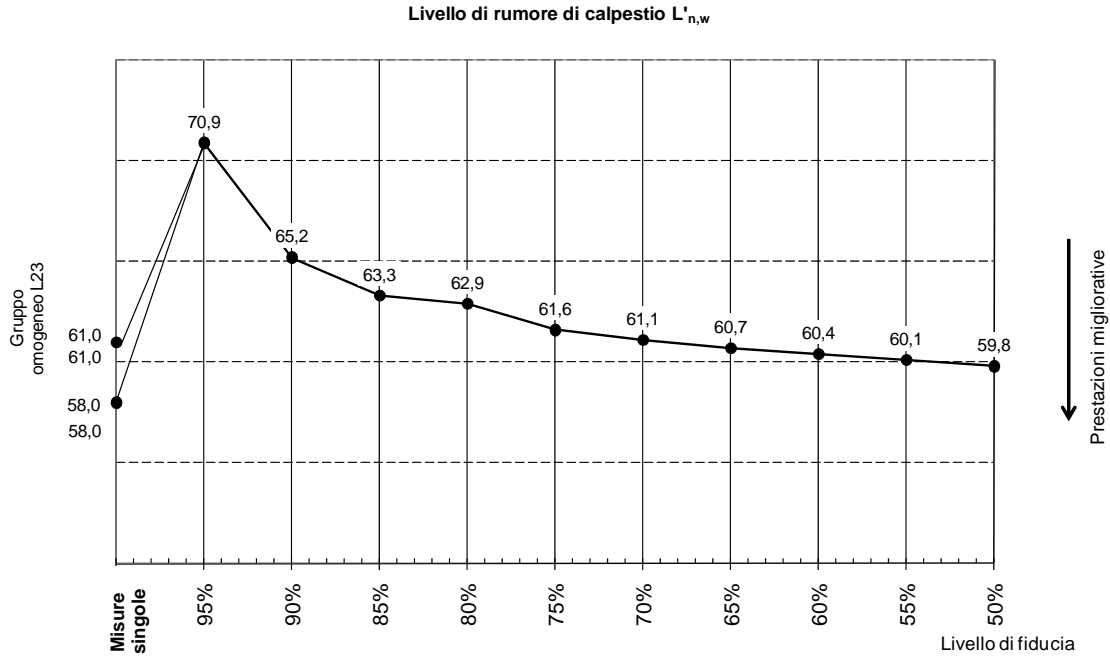


Figura 6 - Risultati relativi al gruppo L23

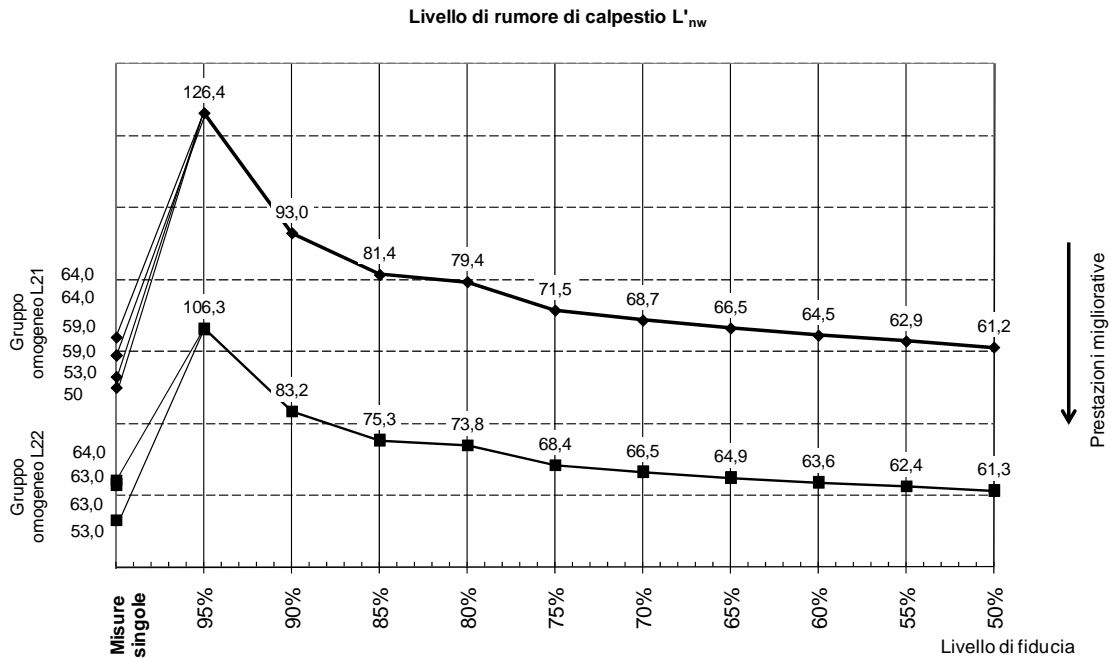


Figura 7 - Confronto tra i risultati ottenuti per i gruppi L22 e L23

Confrontando questi grafici con quelli esaminati in precedenza e simulando altri calcoli, si ottiene che, all'aumentare del numero di elementi che compongono il gruppo omogeneo ed a parità di misurazioni effettuate (ovvero 2), il risultato per un livello di fiducia pari all'85%, assume i valori di tabella 3.

Tabella 3 - Simulazione del calcolo per i gruppi omogenei in cui si provano solo 2 elementi tecnici

		<i>Differenza tra il risultato del gruppo e il valore peggiore misurato (dB)</i>					
		Differenza tra i valori misurati (dB)					
		1	2	3	4	5	6
Numero di elementi che compongono il gruppo	3	0,5	1,1	1,8	2,4	3,3	4,2
	4	0,6	1,4	2,3	3,0	4,1	5,2
	5	0,7	1,5	2,5	3,3	4,4	5,6
	6	0,7	1,6	2,6	3,5	4,6	5,8
	7	0,8	1,6	2,7	3,6	4,8	6,0
	8	0,8	1,7	2,7	3,6	4,9	6,1
	9	0,8	1,7	2,8	3,7	4,9	6,2
	10	0,8	1,7	2,8	3,7	5,0	6,3
	15	0,8	1,8	2,9	3,8	5,1	6,4

Supponendo di considerare accettabile una differenza pari o inferiore a 3 dB tra il peggiore valore misurato e il risultato finale del gruppo, si nota come questo valore si ottenga, indipendentemente dal numero di elementi che compongono il campione, quando la differenza iniziale tra le misurazioni effettuate è, essa stessa, al massimo pari a 3 dB. Quindi, si potrebbe ipotizzare di considerare la differenza di 3 dB riscontrata tra i valori misurati, come limite di accettabilità per i valori finali, del gruppo omogeneo considerato, ipotizzando un livello di fiducia pari all'85% e la misurazione di soli due elementi del gruppo omogeneo, indipendentemente dal numero di elementi che compongono il campione. Il fatto di considerare il valore limite pari a 3 dB deriva da tre osservazioni:

- 3 dB rappresenta il "salto" da una classe all'altra della classificazione acustica per requisito secondo UNI 11367 nel caso di prestazioni elevate;
- 3 dB è l'intero che meglio approssima (per eccesso) il valore massimo dell'incertezza di misura considerata nella norma;
- 3 dB rappresenta un valore di riferimento in acustica, associato al raddoppio o dimezzamento dell'energia sonora in gioco.

In base a queste considerazioni, è evidente come i gruppi L21 e L22, che presentano valori iniziali che differiscono rispettivamente di 11 dB e 14 dB, abbiano risultati derivanti dal campionamento non accettabili.

Per ovviare a questo fatto, e utilizzare comunque il metodo di campionamento per questi gruppi, si ipotizza di aggiungere una terza misurazione a quelle già effettuate per il gruppo L22. Come si può notare nel grafico in figura 8, nonostante questo accorgimento, il valore finale rappresentativo del gruppo, considerando sempre un livello di fiducia pari all'85%, risulta particolarmente penalizzante per il valore migliore misurato.

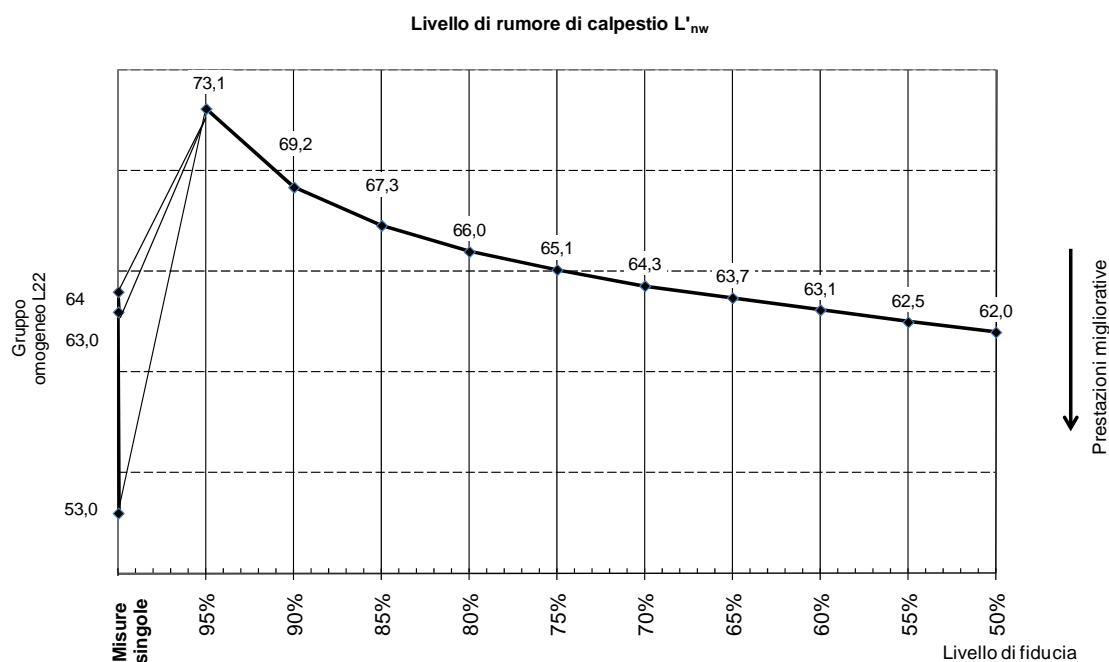


Figura 8 - Calcoli relativi al gruppo L22, misurando tre elementi del gruppo

Infatti, il solaio tra il soggiorno dell'appartamento 5B e il soggiorno dell'appartamento 3B ha una finitura in parquet, a differenza degli altri solai del gruppo omogeneo che hanno una finitura in ceramica (come da progetto), e quindi come prevedibile fornisce una prestazione diversa dagli altri e pari a 53 dB. Il primo elemento è stato qui appositamente incluso nel gruppo omogeneo, per simulare ciò che potrebbe capitare procedendo al campionamento solo sulla base dei disegni di progetto, ma in realtà la diversa finitura lo rende non omogeneo agli altri elementi del gruppo. Identificando dunque il primo elemento tecnico come un'anomalia nella scelta del campione per il gruppo omogeneo, si può procedere escludendolo dal gruppo L22 e calcolando il valore rappresentativo del gruppo omogeneo considerando solo gli altri valori misurati all'interno del suddetto gruppo. Quindi, procedendo come indicato per il calcolo del gruppo L22, il valore rappresentativo del gruppo omogeneo corretto (anomalia esclusa) risulta essere pari a 64,5 dB, con un livello di fiducia pari all'85%. Per l'elemento anomalo si utilizza direttamente come valore finale il suo valore utile, ovvero il valore misurato per l'elemento, corretto dalla sola incertezza di misura. Ciò è conforme alla UNI 11367 che al punto H.2.2 recita "Per le prove singole l'incertezza di campionamento è nulla".

Applicando questo procedimento anche al gruppo L21, nel grafico di figura 9 si osserva il risultato ottenuto aggiungendo una terza misurazione. In questo caso, il valore inserito nel calcolo del gruppo omogeneo differisce dagli altri due valori considerati in precedenza di una quantità superiore a 3 dB. Considerando, quindi, di procedere come nel caso precedente, anche escludendo il valore pari a 50 dB, che potrebbe essere identificato come un'anomalia (positiva) rispetto agli altri valori, si ottiene comunque un risultato che, per quanto detto, risulta ancora troppo penalizzante.

A questo punto, si potrebbe procedere svolgendo anche una quarta misura al gruppo omogeneo, come indicato nella parte inferiore del grafico in figura 9. Anche in questo caso, data la differenza tra i valori misurati, si ottengono risultati non ottimali per questo gruppo omogeneo.

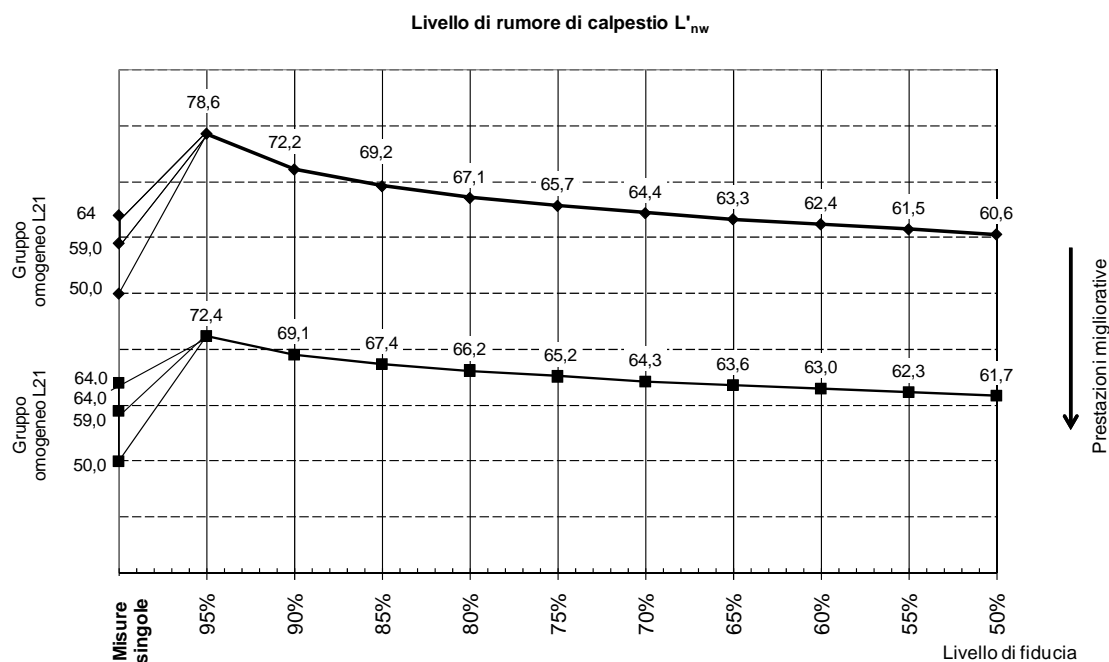


Figura 9 - Calcoli relativi al gruppo L21, provando tre e quattro elementi del gruppo omogeneo

Quindi, dato il numero di misurazioni già effettuate, ovvero 4, e il fatto che il gruppo sia composto da soli 6 elementi, si potrebbe procedere misurando anche i rimanenti 2 elementi del gruppo omogeneo L21 e trattare ogni elemento come singolo. In questo modo, non si applicherebbe l'incertezza di campionamento.

3.4 Rumore degli impianti a funzionamento discontinuo

Si considerano due gruppi omogenei, relativi alla misurazione del requisito del livello sonoro immesso dagli impianti a funzionamento discontinuo, espresso dal livello massimo di pressione sonora ponderato A, con costante di tempo Slow, corretto con il tempo di riverberazione dell'ambiente ricevente, L_{id} in dB(A). I gruppi in esame sono I12 e I14, formati rispettivamente da 3 elementi e da 4 elementi. Misurando, per ogni gruppo, un campione minimo di due elementi, si ottengono valori che differiscono tra loro rispettivamente di 8,3 dB(A) e 9,3 dB(A). I risultati relativi a questi due gruppi omogenei si possono osservare nel grafico di figura 10.

Data la differenza iniziale tra i valori utili corrispondenti alle due misurazioni effettuate, anche in questo caso si può procedere aggiungendo una terza misurazione ai campioni rappresentativi dei due gruppi.

Nel caso del gruppo I12, essendo questo composto da 3 elementi, il numero di misurazioni arriva ad essere uguale al numero di elementi del gruppo. Pertanto non si procede al calcolo dell'incertezza di campionamento.

Per il gruppo I14, il valore riscontrato aggiungendo un terza misurazione, permette di individuare un'anomalia nei valori. Infatti, uno dei tre elementi misurati presenta un valore utile pari 44,7 dB(A), particolarmente negativo rispetto agli altri due valori del gruppo. Analizzando in dettaglio gli elementi tecnici che compongono il campione, non si riscontrano differenze visive evidenti quindi, in questo caso, è probabile imputare la causa dell'anomalia ad un errore nella realizzazione di questo particolare elemento tecnico.

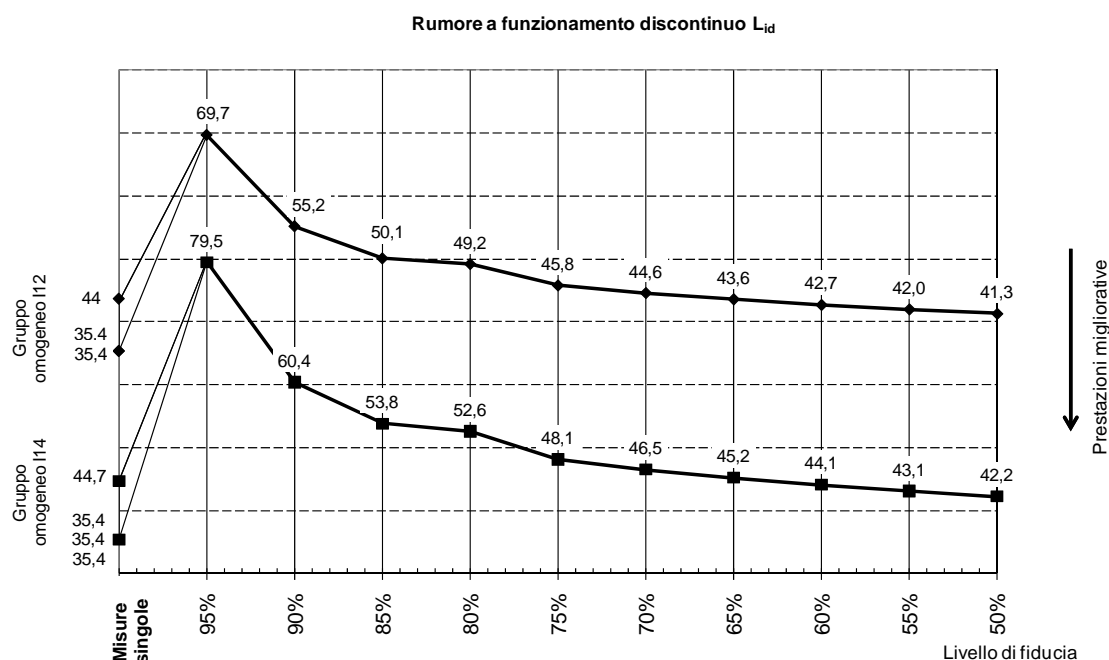


Figura 10 - Confronto tra i risultati ottenuti per i gruppi I12 e I14

Questo episodio ha spinto la Committenza a verificare la corretta esecuzione degli impianti di scarico a servizio dell'edificio, con particolare attenzione a quello con un valore di L_{id} anomalo. L'ispezione ha rilevato un difetto di posa in opera delle tubazioni, che non era presente negli altri impianti e che non era possibile individuare se non con approfondite verifiche in opera.

Per quanto riguarda il calcolo della classe, quindi, si potrebbe anche procedere escludendo l'anomalia dal gruppo omogeneo e calcolando il valore rappresentativo dal gruppo per i rimanenti elementi. In tal caso il valore anomalo, è considerato come una misurazione singola e corretto dalla sola incertezza di misura (risultando comunque molto negativo). Si tratterebbe tuttavia di una interpretazione, piuttosto che del rispetto letterale della norma UNI 11367. I valori medi finali ottenuti con le due diverse scelte sono 53,5 dB e 37,7 dB e portano rispettivamente alle classi acustiche NC e IV.

4. Proposta di un criterio per il campionamento

In base alle osservazioni riportate in precedenza, è possibile proporre un criterio per l'applicazione del metodo di campionamento, partendo dalla misurazione del numero minimo di elementi prescritti dal metodo e dall'osservazione dei valori numerici misurati e corretti con l'incertezza di misura. Come detto in precedenza, questo criterio ha lo scopo di evitare eccessive penalizzazioni nei risultati della classificazione acustica, dovute ad un'applicazione poco attenta del metodo di campionamento.

In breve:

- 1) il criterio è applicato considerando sempre un livello di fiducia pari all'85%, che risulta essere quello per il quale si ottengono i valori più plausibili. Si ricorda inoltre che questo livello di fiducia è circa pari a quello utilizzato per la determinazione dell'incertezza estesa di misura nella UNI 11367 (84%).
- 2) Indipendentemente dal numero di elementi che compongono il campione, effettuando il numero minimo di misurazioni prescritte dal progetto di norma, se il

valori massimo e minimo tra quelli misurati differiscono tra loro di un valore pari o inferiore a 3 dB, i risultati che derivano dal calcolo dell'incertezza estesa di campionamento si ritengono accettabili. Nel caso in cui, invece, i valori misurati, differiscano tra loro di più di 3 dB, il campione non viene più considerato "sufficiente" e si procede misurando un nuovo elemento del gruppo in esame.

- 3) Osservando il valore utile riscontrato per l'ulteriore elemento tecnico misurato, se questo differisce di una quantità pari o inferiore a 3 dB dal valore di uno degli elementi del gruppo misurati in precedenza, si identifica come un'anomalia il valore che più si discosta dagli altri due, in negativo o in positivo indifferentemente. Le cause della presenza del valore anomalo all'interno del gruppo possono essere diverse. Potrebbe essersi verificato un errore durante la scelta degli elementi del campione, dovuto alle differenze tra progetto e realizzazione in opera; in questo caso, potrebbe essere possibile riscontrare l'anomalia all'atto della sessione di misura, come nel caso sopra riportato della realizzazione di una finitura superficiale dei solai differente da quella di progetto. Un'altra causa dell'anomalia, potrebbe essere dovuta ad errori nella posa in opera di qualche elemento tecnico; in questo secondo caso, effettuando le misurazioni a edificio ultimato, potrebbe non essere più possibile individuare visivamente l'anomalia. In tutti i casi, in sede di calcolo dell'incertezza di campionamento, si può procedere escludendo dal gruppo l'elemento che presenta il valore che più si discosta dagli altri due, considerandolo come un elemento singolo. I rimanenti due valori misurati si utilizzano per il calcolo del valore rappresentativo del gruppo omogeneo, considerando un'incertezza estesa di campionamento con un livello di fiducia pari all'85%.
- 4) Se il nuovo valore misurato, si discosta dai precedenti di una quantità superiore a 3 dB, non è possibile individuare in maniera certa un'eventuale anomalia. Si procede, quindi, considerando il valore utile di un ulteriore elemento che compone il gruppo finora esaminato degli elementi del gruppo. Osservando i risultati ottenuti, il tecnico che procede al calcolo, potrà, caso per caso, valutare se:
 - provare ulteriori elementi tecnici che appartengono al gruppo omogeneo e procedere nel calcolo;
 - escludere dal campione per quel gruppo omogeneo alcuni elementi con valori misurati che si discostano particolarmente dagli altri, considerandoli elementi singoli e ridurre pertanto il numero di elementi omogenei che compongono il gruppo;
 - non applicare il campionamento al gruppo omogeneo, scegliendo di effettuare tutte le misurazioni relative agli elementi campionati.

Queste considerazioni derivano dai valori utili misurati, dal numero di elementi tecnici che compongono il gruppo omogeneo, dagli elementi tecnici stessi del gruppo omogeneo che possono essere osservati e valutati da un tecnico competente in sede di misurazione.

- 5) Ad ogni modo, se l'applicazione di questo metodo porta ad avere un numero di misurazioni pari al numero di elementi che compongono il gruppo omogeneo, il campionamento non sarà applicato e si effettueranno misurazioni singole per ogni elemento tecnico del campione, opportunamente corrette con la sola incertezza di misura.

5. Applicazione del criterio “dei 3 dB” all’edificio in esame

Applicando il criterio sopra proposto per l’utilizzo del metodo di campionamento a tutti i calcoli relativi all’edificio in esame si ottengono dei risultati più accettabili dei precedenti. Si riportano di seguito le tabelle riassuntive (tabelle 4 e 5), con evidenziati i valori che hanno subito una modifica rispetto al precedente calcolo.

I gruppi L21 e L22, formati da 6 e da 4 elementi rispettivamente, presentano misurazioni iniziali che differiscono tra loro di oltre 3 dB. Per entrambi i gruppi si è dunque proceduto effettuando un’ulteriore misurazione relativa ad un altro elemento tecnico. Per il gruppo L22, si è riscontrata un’anomalia relativa alla misurazione del solaio che separa il soggiorno dell’appartamento 5B dal soggiorno dell’appartamento 3B. Questo solaio, come già detto, a differenza degli altri che hanno finitura in ceramica, presenta una finitura in parquet. Per questo motivo, si esclude questo elemento tecnico dal gruppo, trattandolo come elemento singolo e si procede applicando l’incertezza di campionamento utilizzando le altre due misurazioni, che differiscono tra loro di 1 dB.

Tabella 4 - Risultati applicando il metodo di campionamento ed il criterio “dei 3 dB”

Unità immobiliare	$D_{2m,nT,w}$	R'_w	L'_{nw}	L_{id}	CLASSE GLOBALE
1-A	IV	IV	III	IV	IV
1 bis-A	IV	IV	III	NP	IV
2-A	IV	IV	IV	IV	IV
3-A	IV	IV	II	IV	IV
3 bis-A	IV	III	II	NP	III
4-A	III	IV	I	III	III
5-A	IV	III	III	III	III
6-A	III	IV	III	IV	IV
7-A	III	III	NP	NP	III
1-B	IV	III	IV	III	IV
2-B	IV	III	IV	III	IV
3-C	IV	III	I	III	III
4-B	IV	III	IV	III	IV
5-B	IV	III	III	III	III
6-B	IV	III	III	III	III
7-B	III	III	NP	NP	III

A questo punto, è possibile riportare i risultati dei calcoli delle classi acustiche, ottenuti con l’applicazione del metodo di campionamento abbinato al criterio “dei 3 dB”. I valori finali delle classi acustiche per requisito e della classe globale, per le varie unità immobiliari, assumono i valori rappresentati nella tabella 4.

Rispetto all’applicazione del metodo di campionamento vista in precedenza (tabella 2) si può notare come il confronto con la valutazione basata su misurazioni singole (tabella 1) risulti più favorevole (valori colorati in rosso). Confrontando i due metodi per il campionamento considerati, si ottengono i riscontri della tabella 5.

Quindi, i risultati ottenuti applicando il metodo di campionamento abbinato al criterio “dei 3 dB”, risultano migliori rispetto all’applicazione del solo campionamento, che comunque rispetta la norma UNI. Infatti, con un aumento limitato del numero di misurazioni (+10%) si ottiene un minor declassamento (-44%), rispetto alle misurazioni singole e vengono eliminati i casi di classi con valori declassati di due o più “posizioni” rispetto alle misurazioni singole e i valori NC (non classificabili).

Tabella 5 – Confronto dei risultati con l'utilizzo del metodo di campionamento e del criterio "dei 3 dB"

	<i>Metodo di campionamento</i>	<i>Metodo di campionamento e criterio "dei 3 dB"</i>	<i>Misurazioni singole</i>
Numero di unità immobiliari con risultati più scarsi rispetto alle misurazioni singole	10 su 16	10 su 16	--
Numero di classi con risultato inferiore rispetto alle misurazioni singole	29 su 74	16 su 74	--
Percentuale requisiti declassati rispetto alle misurazioni singole	39%	22%	
Percentuale classi con valore inferiore di una classe rispetto alle misurazioni singole e rispetto al totale delle classi	22%	22%	--
Percentuale classi con valore inferiore di oltre una classe rispetto alle misurazioni singole e rispetto al totale delle classi	18%	0%	--
Percentuale classi con valore inferiore di una classe rispetto alle misurazioni singole e rispetto ai valori declassati	55%	100%	--
Percentuale classi con valore inferiore di oltre una classe rispetto alle misurazioni singole e rispetto ai valori declassati	45%	0%	--
Percentuali classi con valore NC	22%	0%	0%
Numero di elementi tecnici misurati	101	110	131
Percentuale di elementi tecnici misurati	77%	84%	100%

6. Conclusioni

La UNI 11367 [2] sulla classificazione acustica delle unità immobiliari permette, nel caso di sistemi edilizi caratterizzati da tipologie seriali, di effettuare prove solo su alcuni degli elementi tecnici costituenti l'edificio, estendendo poi il risultato agli altri elementi tecnici. Applicando passivamente il numero minimo di misurazioni previsto dal metodo di campionamento della UNI 11367, a volte si ottengono risultati poco soddisfacenti. Per questo viene qui proposto un criterio aggiuntivo, detto "dei 3 dB", basato sull'allargamento sistematico del campione di elementi in prova nel caso che le misurazioni effettuate diano risultati discosti di più di 3 dB tra loro. Il criterio permette anche di individuare ed escludere valori anomali, per esempio dovuti ad una costituzione inizialmente errata del campione, da trattare come elementi singoli.

In un caso concreto, il criterio dei 3 dB ha permesso di incrementare le prestazioni dichiarate per le unità immobiliari di un edificio, avvicinandole a quelle ottenute con la misurazione a tappeto di tutti gli elementi tecnici.

7. Ringraziamenti

Si ringrazia l'Ing. Roberta Solieri per la collaborazione all'elaborazione dei dati prestatata durante il suo lavoro di tesi presso il DIENCA.

8. Bibliografia

- [1] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 5 dicembre 1997, Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici (G.U.R.I. - Serie generale n. 297 del 22/12/1997).
- [2] UNI 11367:2010 Acustica in edilizia – Classificazione acustica delle unità immobiliari – Procedura di valutazione e verifica in opera.
- [3] UNI/TR 11326:2009 Acustica – Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica – Parte 1: Concetti generali.
- [4] UNI CEI ENV 13005:2000 Guida all'espressione dell'incertezza di misura.