

# L'ACUSTICA IN EDILIZIA

## Metodi e modelli

di F. Scamoni, F. Valentini, D. Menis

### Confort acustico negli ambienti abitati

L'ottenimento del confort acustico degli ambienti abitati, prerogativa ormai irrinunciabile, deriva necessariamente da una qualificazione acustica dell'edificio, la quale, a sua volta, passa attraverso la previsione della prestazione finale di un insieme di soluzioni costruttive.

La complessità degli aspetti fisici e tecnici dell'acustica edilizia richiede da una parte strumenti adeguati che siano di ausilio ai tecnici del settore nell'affrontare la progettazione acustica e dall'altra una azione formativa specifica indirizzata all'utilizzo di questi stessi strumenti.

Il documento normativo italiano che detta i valori limite per le prestazioni acustiche degli edifici è il DPCM 5/12/97. Esso si applica a tutte le costruzioni e le ristrutturazioni successive all'entrata in vigore del Decreto.

Un'analisi critica del citato Decreto Attuativo porta alle seguenti considerazioni:

- i limiti imposti sono relativi a prestazioni in opera: si riferiscono alle opere e non ai componenti.
- i limiti imposti sono indipendenti dal clima acustico esterno: ci mettono al riparo da eventuali peggioramenti dei livelli esterni ma risultano a volte eccessivi.
- i limiti imposti non consentono tolleranze: potrebbero esserci variazioni nel tempo delle prestazioni acustiche.
- i limiti per gli impianti sono difficilmente misurabili.
- vengono citate norme tecniche non più cogenti o aggiornate.
- non dà indicazioni sull'interpretazione del significato di unità immobiliare e sulle situazioni di destinazioni d'uso miste.

È necessario un lavoro di sperimentazione e di analisi in opera per mettere a punto i criteri di corretta progettazione acustica che tengano in considerazione le esigenze di protezione dal rumore dell'abitante e le esigenze di contenimento dei costi degli interventi del costruttore.

Un esempio di come procedere in tal senso è dato dal lavoro commissionato dall'ANCE all'ITC CNR.

Si tratta di un caso di studio con cui si intende valutare il comportamento acustico di un edificio ad uso residenziale sulla base del progetto esecutivo e delle caratteristiche dei materiali e dei componenti che costituiscono l'opera nel suo complesso. Tali dati vengono utilizzati come ingresso di un modello di previsione teorica. La valutazione viene ripetuta per diverse combinazioni di soluzioni costruttive riconducibili alla normale pratica diffusa a livello nazionale allo scopo di ottenere prestazioni in accordo con i limiti imposti dalla legislazione nazionale italiana (DPCM 5/12/97). Sono previste alcune prove di laboratorio allo scopo di caratterizzare elementi e componenti i cui dati di comportamento acustico non sono disponibili. È previsto anche un collaudo acustico in condizioni d'opera da eseguire in cantiere a lavori ultimati e in ambienti non arredati e non abitati.

Il modello di calcolo proposto dalla normativa europea (vedi figura 1) è finalizzato alla previsione e alla verifica dei requisiti acustici di un edificio a livello progettuale e utilizza, come dati di ingresso, le prestazioni acustiche note dei suoi elementi costruttivi (vedi figura 2).

Il livello di confidenza del metodo di previsione progettuale proposto non è al momento conosciuto in quanto si comincia solo ora ad applicarlo a casi reali soprattutto in Italia; è importante sottolineare che non è comunque possibile l'utilizzo dei risultati con esso ottenuti al fine del collaudo delle reali prestazioni in opera.



figura 2 – Caso di studio ANCE-ITC: suddivisione in tipologie di unità abitative per la verifica dell'isolamento acustico

Ciò significa che, anche in presenza della relazione acustica allegata per legge al progetto, l'unica prova ritenuta valida della rispondenza o meno ai limiti di legge è il collaudo eseguito

con misure in opera. Per quanto riguarda l'applicazione del metodo previsionale, il problema principale resta il reperimento, che per vari motivi risulta molto difficoltoso, di dati di ingresso sufficientemente attendibili. In effetti in passato, in assenza di specifiche disposizioni legislative, i soggetti del settore edile non si sono preoccupati di

caratterizzare acusticamente i prodotti e i materiali; in seguito, l'entrata in vigore del DPCM sui requisiti acustici passivi degli edifici, ha aumentato la sensibilità del settore, ma l'estrema frammentazione del settore rende ancora difficile il diffondersi della pratica di qualificazione prestazionale dell'elemento edile.

### Previsione del campo sonoro in ambienti confinati

La progettazione edilizia può trarre notevoli vantaggi se affiancata all'impiego consapevole e critico di modelli numerici di simulazione. Nel campo degli spazi appositamente realizzati per l'ascolto della musica, la simulazione è di fondamentale importanza nella valutazione e confronto rapido di diverse alternative progettuali. Si possono investigare varianti messe a punto per ottimizzare la qualità sonora piuttosto che per controllare con maggiore efficacia la riverberazione, la diffusione del suono e delle prime riflessioni. Grazie ai modelli di simulazione si possono inoltre studiare le ripercussioni sul campo sonoro dovute ad una diversa scelta della forma in pianta, gli effetti delle volumetrie e quelli dovuti ad una diversa scelta dei materiali. La simulazione è indispensabile per valutare la qualità di progetti non ancora realizzati evidenziando errori progettuali prima che questi vengano commessi e per la quale correzione è necessario un'ulteriore impiego di risorse; ammesso che questa sia ancora possibile. Se poi si vuole creare uno spazio flessibile capace di adattarsi ad un uso polivalente per l'ascolto della musica piuttosto che del parlato, e di modificare la propria risposta acustica ricorrendo a elementi fisici modificabili (assorbitori variabili, riflettori mobili, diffusori variabili) allora non si può fare a meno di utilizzare tecniche di simulazione. Altro aspetto interessante ci viene offerto sotto il profilo economico, dove uno strumento di previsione diventa essenziale qualora si voglia ricercare la soluzione che al minimo costo garantisca il miglior beneficio.

Un altro campo di applicazione in cui i modelli di simulazione possono costituire importante strumento di progettazione è quello legato al controllo del rumore soprattutto se di origine industriale. Grazie alla simulazione si possono valutare gli effetti dovuti a modificazioni che riguardano: l'adozione e la distribuzione di materiale fonoassorbente; la riorganizzazione del layout dei macchinari, la modellazione della geometria della sala contenente i macchinari.

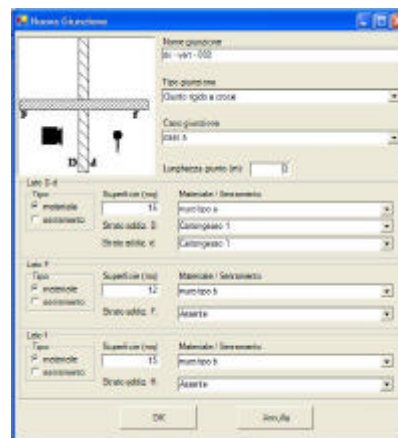


figura 1: Caso di studio ANCE-ITC: impostazione del modello di previsione dei limiti passivi di isolamento acustico di edifici.

Se è vero che per tutti gli aspetti sopra citati esistono degli strumenti che riescono a guidare quantomeno qualitativamente le proprie scelte, altro discorso è prevedere i risvolti quantitativi sulla qualità acustica dello spazio dovuti a tali scelte. Sottolineata l'importanza di tali strumenti, l'ITC ha messo in campo la propria esperienza e le proprie competenze per dare un contributo anche in questo settore.

L'utilizzo di uno strumento di simulazione non è tuttavia immediato se lo si vuole fare con lo spirito critico che caratterizza l'attività di un Istituto di ricerca. Non è sempre chiaro che per un utilizzo adeguato di detti strumenti sia necessaria l'esperienza dell'utente. Bisogna innanzi tutto conoscere quali sono i fenomeni fisici di propagazione del suono che il software di simulazione si propone di emulare, quali di questi sono presi in considerazione (e quindi implementati nell'algoritmo) e quali invece sono trascurati. Bisogna conoscere dettagliatamente i dati di input dei modelli, come questi vengono misurati e da quali variabili fisiche sono influenzati. Infine bisogna riuscire a dare una corretta interpretazione degli indici di qualità acustica calcolati dal software; è pertanto necessario conoscerne la loro definizione ed il loro significato. Utilizzare un modello di previsione del campo sonoro vuol dire comprendere l'intero problema della modellazione degli spazi confinati ponendo particolare attenzione ai dati di input, agli indici calcolati e ai metodi di prova in laboratorio. In ultimo è necessario tenere sempre presente quali sono i limiti di applicazione insiti in tali tecniche e i livelli di attendibilità dei risultati ottenuti.

E' da sottolineare che essendo il coefficiente di assorbimento di un materiale uno dei principali dati di input di un software di simulazione del campo sonoro, questi è anche causa dei principali errori. Le inesattezze che si compiono nell'inserimento di tale indice non possono che ripercuotersi sull'accuratezza del calcolo e sulla effettiva corrispondenza fra valori simulati e valori reali. Il coefficiente di assorbimento infatti è sia funzione delle caratteristiche del materiale sia della sua messa in opera. Avere pertanto a disposizione un dato che si riferisca alla effettiva configurazione di montaggio che verrà utilizzata per il progetto diventa fondamentale.

L'ITC dispone nei suoi laboratori di una camera riverberante dove si possono effettuare misure del coefficiente di assorbimento ai sensi della norma UNI EN ISO 354 del 2003. Sempre per mezzo della camera riverberante sarà possibile in futuro ottenere un altro dei parametri indispensabili per i software di modellazione: il coefficiente di diffusione. Tale coefficiente secondo gli esperti è, e sarà, uno dei più grossi problemi che le tecniche di simulazione si troveranno ad affrontare per avvicinarsi il più possibile ai casi reali. Attualmente è infatti in fase di realizzazione una norma europea per il calcolo di detto parametro, tuttavia *le problematiche incontrate sono molteplici e ne allungano i tempi di approvazione.*

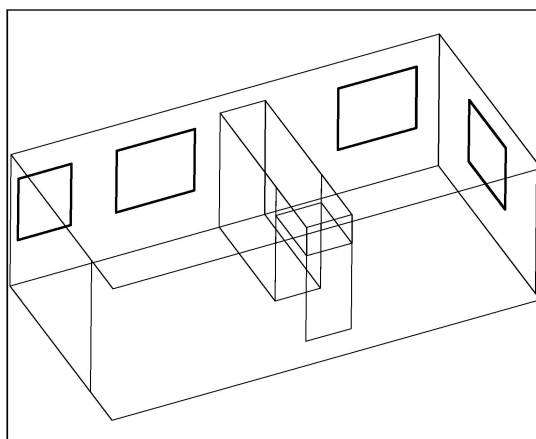


figura 3 – Ambiente di lavoro oggetto del caso di studio per la qualità acustica di un ufficio

Oltre agli allestimenti per la determinazione in laboratorio dei dati di input dei modelli, l'ITC dispone di un software di simulazione con il quale fornire *supporto per una progettazione acustica di qualità*. Una prima applicazione del software (vedi figure 3 e 4)

ha avuto come oggetto lo studio di variabili progettuali che incidono sulla qualità acustica di un ufficio. Fra tutti gli ambienti, il posto di lavoro è uno dei più importanti luoghi in cui curare la qualità acustica. Se è vero che le persone passano sempre più tempo all'interno degli edifici è altrettanto vero che gran parte del tempo è trascorso al proprio posto di lavoro. Il problema del rumore è stato più volte investigato per ambienti di tipo industriale tuttavia in un'economia sempre più spostata al settore terziario vale la pena focalizzare l'attenzione su di uno spazio come l'ufficio. Certo le problematiche acustiche legate ad un ufficio non hanno lo stesso peso di quelle industriali tuttavia è da considerare il fatto che i livelli di qualità sono molto più restrittivi e attuali tendenze di progettazione, quali l'utilizzo di open-space e di pareti leggere in grado di mantenere un elevato livello di flessibilità nell'aggregazione degli spazi, non hanno fatto altro che enfatizzare il problema.

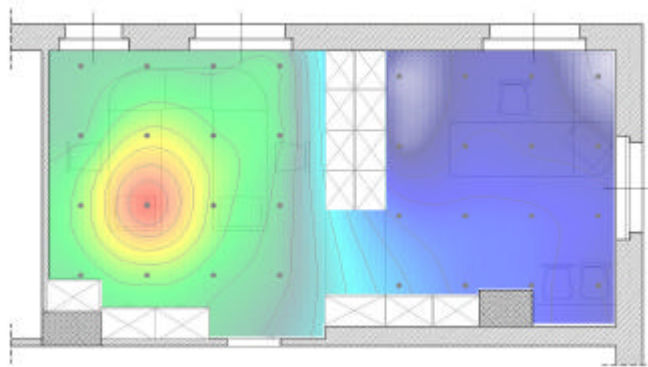


figura 4 – Simulazione del campo sonoro ottenuta col modello di simulazione per l'ambiente di lavoro di figura 1

In ultimo per mezzo della strumentazione disponibile presso i laboratori è possibile misurare in opera tutti quei parametri (tra i quali gli stessi indici di qualità acustica calcolati dai software di simulazione) in grado di descrivere il campo sonoro all'interno di uno ambiente. È così possibile eseguire un collaudo dell'opera realizzata e verificare che le prestazioni acustiche prefissate siano state rispettate.

### Il controllo attivo del rumore

Un sistema dedicato al controllo attivo del rumore può essere costituito dai seguenti elementi:

- a) microfoni di riferimento: ove utilizzati, hanno il compito di acquisire una stima del segnale di disturbo;
- b) microfoni di errore: hanno il compito di acquisire il segnale risultante dall'interferenza tra il disturbo e il segnale di contro-rumore;
- c) sistema di acquisizione, eventualmente multicanale;
- d) unità di elaborazione real-time;
- e) eventuale unità di elaborazione per la gestione dell'interfaccia utente;
- f) sistema di generazione del segnale multicanale costituito da un amplificatore audio e da uno o più altoparlanti.

Il cervello del sistema è rappresentato dall'unità di elaborazione real-time, essenzialmente costituita da un processore e da un sistema operativo real-time. Quest'ultimo deve garantire il determinismo delle operazioni, ossia che la cadenza con la quale sono effettuate le operazioni sia il più rigorosamente possibile quella impostata; perché ciò possa avvenire il sistema operativo non deve essere "distratto" da altre richieste, ragion per cui è privo di moduli per la gestione di tastiera, mouse e video. L'unità di elaborazione real-time si limita ad eseguire il programma di controllo preventivamente scaricato al suo interno tramite collegamento a PC remoto.

Essenzialmente il programma si propone di realizzare uno o più filtri digitali tramite l'implementazione di un algoritmo che elabora il segnale digitalizzato (in ingresso) per produrre (in uscita) il segnale di controllo. Il filtraggio digitale si rivela così molto flessibile e rapido da realizzare, con il mantenimento del medesimo hardware.

Nel caso del controllo attivo i filtri da realizzare sono del tipo adattativo. L'espressione "filtraggio adattativo" significa che i parametri del filtro possono essere variati secondo un criterio di ottimizzazione basato sui valori dei segnali di errore, che rappresentano un'indicazione dello scostamento dal caso ottimale.

Un filtro adattativo può essere pensato distinto in due parti: un filtro digitale che processa il segnale e un algoritmo progettato per aggiustare i parametri del filtro in modo da minimizzare la media quadratica del segnale errore, campione dopo campione.

Tali algoritmi consentono al sistema di ottimizzare le prestazioni e di adattarsi ai cambiamenti che avvengono nel tempo in seguito alla variazione delle sorgenti del disturbo, delle condizioni climatiche o dello stato di usura dei materiali. Gli algoritmi più comunemente utilizzati possono essere distinti in due categorie principali: i filtri di tipo *feedforward* (richiedono l'utilizzo di uno o più microfoni di riferimento aventi il compito di acquisire il segnale di disturbo "pulito") e i filtri di tipo *feedback* (in cui non è previsto o non è possibile ricorrere al microfono di riferimento).

Affinché sia possibile agire sul fronte d'onda incidente, registrato in corrispondenza del microfono di riferimento, le operazioni di filtraggio digitale adattativi e di emissione del segnale di controllo devono essere completate prima che il suddetto fronte d'onda arrivi sui microfoni di errore.

Questa condizione temporale è tale da imporre dei paletti alla dislocazione dei sensori e degli attuatori. Affinché questa condizione sia soddisfatta, si può:

- allontanare il/i sensore/i di riferimento;
- avvicinare gli altoparlanti ai microfoni di errore;
- adottare processori più veloci;
- adottare algoritmi o librerie che riducano il tempo necessario per eseguire le operazioni richieste.

Naturalmente il peso computazionale cresce notevolmente al crescere del numero di microfoni errore, altoparlanti e microfoni di riferimento, ma il vincolo temporale sul ritardo di acquisizione rimane sempre lo stesso.

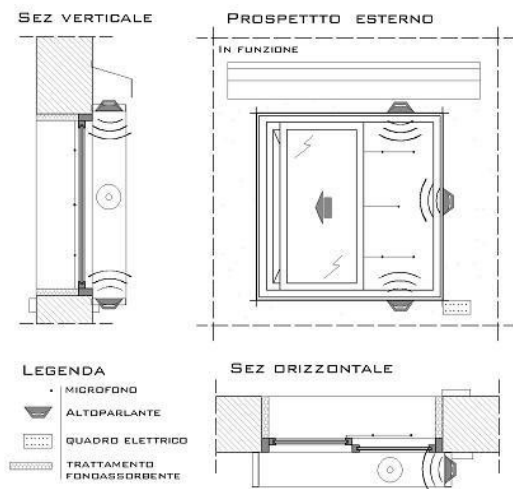


figura 5: Controllo attivo del rumore in edilizia: progetto di finestra attiva ITC di seconda generazione.