

La valutazione del rumore ambientale: quale ruolo per i modelli di calcolo?

Giuseppe Elia - Presidente Commissione Acustica UNI

Eurofins - Modulo Uno S.p.A., via Cuorgnè 21, 10156 Torino, giuseppe.elia@modulouno.it

RIASSUNTO

L'utilizzazione dei modelli informatici di calcolo è ormai estremamente diffusa nella determinazione del clima acustico e negli studi previsionali di impatto acustico. Tuttavia, non sono poche le domande che questa ampia divulgazione di tale strumento suggerisce:

- *è proprio sempre necessario l'uso di complessi modelli informatici?*
- *quali problemi risolvono, ma anche, quali problemi introducono?*
- *i dati che inseriamo come input quanto sono corretti?; e quanto sono variabili?*
- *vi è consapevolezza dei limiti che tali modelli intrinsecamente rivelano?*
- *vi è consapevolezza dell'incertezza da cui sono affetti i risultati che si ottengono?*

La presente memoria ha l'intento di passare in rassegna i punti critici della modellizzazione acustica, evidenziando anche alcuni orientamenti utili a superare alcune questioni più spinose.

Le considerazioni che seguono si riferiscono sia a sorgenti fisse (connesse a impianti produttivi e a edifici di varia destinazione d'uso) sia a infrastrutture in cui le sorgenti sonore sono mobili (es. strade, ferrovie, piazzali, ecc...). Non viene considerato in questa memoria il traffico aereo, poiché possiede problemi molto specifici che richiederebbero una trattazione a parte.

PRIMA QUESTIONE: LA SCELTA DEL MODELLO

CASO A)

La necessità di valutare il livello sonoro in un limitato numero di punti in un situazione acustica predefinita (ad esempio per rilevare il clima acustico in un'area non estesa), giustifica la preferenza verso le misurazioni, anziché in direzione dei modelli di calcolo. Questa scelta appare tanto più opportuna quanto più complessa è la situazione delle sorgenti sonore e dell'ambiente circostante. Valga l'esempio della valutazione del clima acustico relativo ad un'area dove debba sorgere una scuola in un contesto urbano: indubbiamente la rilevazione sonora dello stato dei luoghi consente un'informazione assai più dettagliata e generalmente di maggior praticabilità rispetto all'uso di modelli matematici.

Nel caso in cui l'area in questione risultasse di notevole estensione (es. per la realizzazione di un grande complesso ospedaliero), si può pensare di accompagnare le misurazioni dirette in alcuni punti significativi dell'area con l'utilizzo di un modello di calcolo (che consenta di estendere la valutazione anche nelle porzioni di spazio non coperte dall'indagine metrologica) seguendo i criteri successivamente descritti.

CASO B)

La determinazione dell'impatto acustico in pochi punti di ricezione, associati ad un esiguo numero di sorgenti e ad un ambiente relativamente semplice dal punto di vista orografico, può essere ottenuta attraverso l'utilizzo di alcuni algoritmi matematici che simulano adeguatamente la propagazione acustica considerando i principali fattori di attenuazione.

Nota: in linea teorica qualunque espressione di calcolo relativa alla propagazione sonora rappresenta un elementare modello, perché essa simula matematicamente un fenomeno fisico. Tuttavia il termine modello, nell'accezione più usuale, sta ad indicare un codice di calcolo strutturato attraverso il quale si ricavano informazioni più o meno estese circa l'immissione sonora di un insieme di sorgenti in uno specifico contesto ambientale. Nelle pagine che seguono il termine modello sarà sempre utilizzato in quest'ultima accezione.

CASO C)

Quando il numero di sorgenti o di ricettori sia elevato, ma la geometria del sistema sorgenti – ambiente – ricettori sia relativamente elementare, possono essere utilizzati algoritmi matematici implementati attraverso funzioni avanzate dei sistemi GIS.

Questa metodologia, per quanto approssimata, (ad esempio generalmente essa considera solo l'attenuazione dovuta alla divergenza delle onde sonore e, quindi, può introdurre elementi di incertezza anche maggiori di quelli considerati nel caso b)) fornisce, in contesti ambientali semplici, risultati confrontabili con quelli prodotti da modelli più rigorosi.

Il pregio di questa impostazione sta nella sua velocità e nella semplicità dell'impostazione dei dati, che si apprezza soprattutto nella modellizzazione di aree estese.

CASO D)

Ove il sistema sorgenti – ambiente – ricettori sia invece complesso (per morfologia, presenza di elementi riflettenti, presenza di schermi, condizioni meteorologiche, vegetazione, caratteristiche del terreno), i modelli

di calcolo più strutturati (quasi sempre basati sulla tecnica del ray tracing) risultano certamente molto opportuni e utili, soprattutto in termini di affidabilità del risultato finale.

L'uso dei modelli di calcolo trova poi importanti applicazioni negli adempimenti previsti dalla normativa vigente: in particolare per la realizzazione dei piani di risanamento e per la predisposizione delle mappature acustiche del territorio. Fatta eccezione per il caso di singole sorgenti sonore (solitamente di tipo produttivo) che influenzano un numero limitato di ricettori (situazione per la quale si procede più agevolmente attraverso calcoli diretti) la modellizzazione consente una elevata rapidità di valutazione per coprire una notevole estensione di territorio.

Nell'esempio di figura 1 il complesso industriale di cui si è valutato l'impatto acustico è caratterizzato da un insieme di circa 80 sorgenti sonore, e il contesto ambientale è relativamente complesso (sia per l'orografia del territorio, sia per la tipologia dell'insediamento urbano): questo giustifica l'adozione di un evoluto modello di calcolo. Peraltro se, nello stesso contesto, si dovesse valutare l'effetto del risanamento di una sorgente sonora posta nella zona Nord ed influenzante solamente i punti P5 e P6, si potrebbe ipotizzare l'utilizzo di alcuni semplici algoritmi di calcolo, senza necessariamente ricorrere ad uno strumento così sofisticato.

Figura 1 - Previsione di impatto acustico di uno stabilimento industriale



SECONDA QUESTIONE: LA CARATTERIZZAZIONE DELLE SORGENTI SONORE

Le norme UNI della serie 11143:2005 (parti 1, 2, 3, 5) "Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti" stabiliscono un'articolata serie di indicazioni circa le modalità per acquisire i dati acustici inerenti varie tipologie di sorgenti sonore, sia connesse al traffico (veicolare e ferroviario) sia associate ad attività produttive. Non è invece ancora stata emanata la parte 4 di questa serie di norme, relativa al rumore del traffico aereo.

E' da rimarcare inoltre che il D.Lgs. Governo n°194 del 19/08/2005, attuativo della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale, indica, nell'allegato 2, una serie di riferimenti normativi finalizzati alla valutazione della potenza sonora delle sorgenti sonore:

- ISO 8297:1994 «Acoustics - Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment - Engineering method»;

- EN ISO 3744:1995 «Acoustics - Determination of sound power levels of noise using sound pressure - Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane»;
- EN ISO 3746:1995 «Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using an enveloping measurement surface over a reflecting plane»;
- per il rumore degli aeromobili: documento 29 ECAC. CEAC «Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports», 1997. Tra i diversi approcci per la modellizzazione delle linee di volo, va usata la tecnica di segmentazione di cui alla sezione 7.5 del documento 29 ECAC. CEAC;
- per il rumore del traffico veicolare: metodo di calcolo ufficiale francese «NMPB-Routes-96 (SETRACERTU-LCPC-CSTB)», citato nell'«Arreté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, article 6» e nella norma francese «XPS 31-133». Per i dati di ingresso concernenti l'emissione, questi documenti fanno capo al documento «Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prevision des niveaux sonores, CETUR 1980»;
- per il rumore ferroviario: metodo di calcolo ufficiale dei Paesi Bassi pubblicato in «Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996».

In termini operativi, molto differenti sono le situazioni e le possibilità di individuare le caratteristiche di emissione sonora delle sorgenti di rumore oggetto di modellizzazione. Schematicamente (anche se non esaustivamente) possiamo così descriverle:

CASO A)

Nel caso in cui la modellizzazione acustica riguardi una situazione esistente e misurabile, la via metrologica è senz'altro quella che si presenta più attendibile, sia perché consente di rilevare direttamente il contributo delle reali sorgenti sonore, sia perché rende possibile la taratura del modello.

Nelle norme sopra citate sono indicate alcune metodologie di prova, la cui piena utilizzazione consente di ottenere in genere dati affidabili.

Nota. La norma ISO 8297:1994, assume che un insieme anche molto ampio di sorgenti sonore (es. un intero insediamento industriale) sia considerato come una singola sorgente sonora; e ciò richiede molta cautela nel valutare i risultati ottenuti da tale metodologia di prova e competenza nell'utilizzarli ai fini dell'applicazione in un modello di calcolo: non è infatti quasi mai possibile, per ottenere un risultato affidabile, inserire l'intera sorgente estesa come unica sorgente, ma è necessario scomporla, come diremo successivamente, in più sorgenti.

Vi possono poi essere circostanze che non consentono di utilizzare integralmente le norme citate, ma ciò non preclude la possibilità di procedere alla caratterizzazione delle sorgenti sonore attraverso alcune prove, avendo però chiaro che la limitata conformità determina un incremento dell'incertezza.

Ad esempio, se si utilizza la norma ISO 3744 (o ISO 3746), per rilevare il livello di potenza sonora di una sorgente industriale con superficie di misura parallelepipedica, è sempre prevista una serie di misurazioni al di sopra dell'impianto, in postazioni spesso difficilmente accessibili. In questi casi le misurazioni possono essere effettuate su tutte le altre superfici dell'impianto e il livello di potenza sonora della superficie superiore viene stimato attraverso criteri di similitudine e ricavando alcune informazioni in merito alla geometria e alla direttività della sorgente stessa.

La caratterizzazione acustica di una sorgente non si può sempre limitare alla sola determinazione del livello di potenza sonora: ad esempio in molte situazioni anche la direttività ha grande importanza (tenendo fra l'altro presente che la direttività di una sorgente dipende molto dalla frequenza). Così pure, sorgenti di grandi dimensioni o geometricamente complesse debbono essere suddivise in molteplici sorgenti elementari (ad esempio di tipo puntiforme o lineare). Si veda, ad esempio, il caso dei camini, ove, in funzione della posizione angolare del ricettore e della frequenza, cambia in modo cospicuo il fattore di direttività.

CASO B)

Quando non sia possibile effettuare misurazioni relative alle sorgenti da modellizzare, per ragioni pratiche o perché non esistono ancora (ad esempio nelle valutazioni di impatto), si possono talvolta misurare le caratteristiche di emissione di sorgenti simili; ovviamente tale approccio richiede attenzione nel valutare la reale affinità acustica fra l'oggetto delle rilevazioni e l'oggetto delle misurazioni.

Le misurazioni sono poi importanti nei casi di valutazione di impatto relativi a modifiche delle sorgenti sonore (es. risanamento di impianti, modifiche dei volumi di traffico di infrastrutture esistenti). Secondo tale metodologia infatti, i dati relativi all'emissione sonora delle future sorgenti sonore si fondano sui risultati di queste misurazioni e sulle valutazioni - teoriche o sperimentali - relative alle modifiche introdotte.

CASO C)

Ove non sia possibile procedere in base a misurazioni, i dati acustici relativi alle sorgenti sonore possono essere desunti da:

- informazioni dei fornitori (nel caso di macchine o impianti)
- valori provenienti da affidabili banche dati
- letteratura tecnico - scientifica.

In molti casi sono disponibili algoritmi di calcolo che, sulla base di parametri costruttivi ed operativi delle sorgenti sonore, ne valutano il livello di potenza sonora. Ad esempio, il rumore del traffico veicolare è determinabile conoscendo le caratteristiche della sede stradale, il tipo di veicoli che la percorrono, la loro velocità media; similmente il livello di potenza sonora di un ventilatore è determinabile in base a dati costruttivi (tipo di ventilatore e orientamento delle pale) e operativi (portata, potenza e prevalenza).

E' sempre opportuno ricavare informazioni, non solo sul livello sonoro ponderato A, ma altresì sulla composizione in frequenza (bande di ottava o di terzi d'ottava).

TERZA QUESTIONE: LA CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

La propagazione acustica ambientale, per quanto ampiamente studiata e fatta oggetto di molte ricerche sperimentali, presenta rilevanti margini di incertezza. Questi derivano in parte dalla difficoltà di valutare compiutamente i parametri che influenzano tale propagazione, sia dalla variabilità che gli stessi possono manifestare nel tempo.

I fattori che assumono maggior rilevanza nel determinare l'attenuazione acustica di un rumore in un ambiente aperto sono così riassumibili:

- divergenza delle onde sonore
- condizione meteo-climatiche
- caratteristiche del terreno (morfologia, assorbimento acustico, ecc...)
- vegetazione
- presenza di elementi schermanti e/o riflettenti

In linea generale ognuno di questi fattori è valutato singolarmente, adottando sostanzialmente il principio di sovrapposizione degli effetti. Tuttavia, come si dirà più avanti, l'attenuazione acustica associata a qualcuno di questi fattori è funzione anche di altri fattori: e ciò rende, quindi, assai più complessa la valutazione e più incerto il dato finale.

DIVERGENZA DELLE ONDE SONORE

Questo aspetto è facilmente gestibile dal punto di vista della modellizzazione quando è possibile ricondurre una sorgente sonora ad una delle tipologie standard: puntiforme (omni o emidirezionale), lineare o piana. In genere, tuttavia, le sorgenti hanno una configurazione complessa, che rende necessario un approccio più articolato: ad esempio, la facciata di uno stabilimento industriale può costituire una sorgente piana a breve distanza dallo stesso, ma diviene una sorgente puntiforme per distanze molto superiori alle dimensioni della stessa. Molto spesso questi problemi sono risolvibili in un modello di calcolo suddividendo le sorgenti sonore complesse in un insieme di sorgenti puntiformi elementari. Fra l'altro questa impostazione consente anche di gestire in modo abbastanza elementare la questione della direttività delle sorgenti.

CONDIZIONI METEOCLIMATICHE

Nei modelli di calcolo si fa normalmente uso di modelli che tengono in considerazione l'attenuazione acustica dovuta all'assorbimento acustico atmosferico (in funzione della temperatura e dell'umidità).

Spesso vengono invece ignorati effetti dovuti alle disomogeneità atmosferiche: e, in particolare, i gradienti di temperatura e di vento. Questi fattori determinano, infatti, degli incurvamenti delle onde sonore la cui caratterizzazione è tutt'altro che agevole.

Al di là di queste difficoltà di valutazione, le condizioni del clima sono poi in genere molto variabili nel tempo. Anche se le norme di riferimento richiedono, generalmente, che la valutazione sia effettuata nelle condizioni climatiche prevalenti nell'area in esame, appare molto problematico avere significativi dati per quanto concerne i gradienti termici e di vento.

Trascurare questi effetti può comportare delle variazioni importanti (anche superiori ai 3 dB) soprattutto in zone più distanti rispetto alle sorgenti di rumore.

A titolo di esempio valgono i risultati acustici rilevati in due differenti postazioni, prossime al confine di una centrale termoelettrica, l'una posta in prossimità del mare, l'altra nella direzione opposta (verso monte):

	Leq diurno dB(A)	Leq notturno (dB(A))
Postazione lato mare	49,6	50,9
Postazione lato monte	51,2	49,4

E' curioso rilevare che, permanendo le stesse condizioni di emissione sonora, si inverta la situazione fra i due punti di misura: il fenomeno è quasi certamente da associare al vento (avente velocità di circa 3-4 m/s) la cui direzione è cambiata fra il giorno e la notte.

Nota: questi aspetti debbono essere considerati, non solo quando si valuta la propagazione sonora, ma altresì quando si effettuano le misurazioni; ad esempio, la taratura di un modello richiede che i dati meteo inseriti corrispondano a quelli rilevati nel corso delle misurazioni.

CARATTERISTICHE DEL TERRENO

Il terreno influenza la propagazione acustica sia per la sua conformazione geometrica, sia per le caratteristiche di assorbimento che possiede. Come noto, le onde sonore riflesse dal terreno interferiscono con le onde dirette, producendo effetti di attenuazione e (in alcuni intervalli di frequenza) anche, talora, effetti di amplificazione.

Poiché questi fenomeni sono molto difficili da valutare (soprattutto con un terreno irregolare), solitamente si ricorre a formulazioni matematiche empiriche, che forniscono risultati non sempre affidabili in tutte le bande d'ottava.

Il problema è inoltre complicato spesso dalle modifiche che il terreno subisce nel breve e nel lungo periodo: ad esempio, la presenza di ghiaccio o di neve su un campo rende l'assorbimento acustico del terreno molto differente da quello che si ha in un periodo nel quale il campo è ricoperto da erba o, più ancora, quando vi cresce del grano. Valgono anche in questo caso le considerazioni svolte nella nota scritta al punto precedente.

Nei modelli di calcolo più evoluti, esiste la possibilità di inserire la morfologia del terreno, anche se permangono tutti i problemi connessi alle sue caratteristiche assorbenti.

VEGETAZIONE

E' relativamente consolidato il fatto che la presenza di alberi, fra una sorgente sonora e un ricettore, per una estensione di pochi metri, non produce alcun significativo effetto. Viceversa, in presenza di un bosco avente alcune decine o centinaia di metri di profondità, l'attenuazione acustica può essere rilevante. Purtroppo i dati sperimentali disponibili in letteratura presentano delle forti disomogeneità, e non è possibile trarre delle indicazioni generali per questo aspetto.

La disponibilità di specifiche misurazioni nel sito oggetto di indagine può aiutare a comprendere quanto la presenza di alberi possa incrementare l'attenuazione acustica. Tale risultato deve essere comunque sempre correlato con lo stato delle piante (ad esempio, la presenza delle foglie aumenta in genere l'attenuazione alle alte frequenze).

Per contro, in alcuni casi, il rumore emesso (ad esempio, da sorgenti molto intense) può indurre fruscio delle foglie determinando rumore autogenerato dalle stesse piante. Questa emissione secondaria è valutabile unicamente attraverso misurazioni dirette.

ELEMENTI SCHERMANTI O RIFLETTENTI

L'attenuazione di barriere (naturali o artificiali) può essere valutata abbastanza agevolmente in situazioni geometriche semplici. Viceversa, la presenza di edifici, che possono causare effetti positivi (essendo degli elementi schermanti), e negativi (a causa di riflessioni indotte) richiede, solitamente, un'analisi più complessa; soprattutto quando si possono manifestare riflessioni multiple (ad esempio dovute ad edifici fra loro affacciati) solo modelli di calcolo più complessi (come quasi tutti quelli commerciali) consentono di ottenere risultati soddisfacenti.

Un ulteriore aspetto che non deve esser mai trascurato riguarda i ricettori posti di fronte ad una superficie riflettente (ad esempio in corrispondenza della facciata di un edificio): in questi casi, infatti, la riflessione della facciata può influenzare in modo rilevante (fino a 3 B) l'immissione sonora in tale postazione.

FATTORI INTERAGENTI

Come detto, in molti casi vi possono essere situazioni che rendono non del tutto adeguato il criterio di considerare gli effetti di questi fattori operanti separatamente. Vediamo alcuni esempi in merito:

- la presenza di gradienti termici o di vento, quando tendono ad incurvare verso il basso le onde sonore, possono determinare delle vie di propagazione del suono che non intercettano le eventuali barriere poste fra sorgente e ricettore;
- poiché le barriere intercettano sia le onde dirette, sia le onde riflesse dal terreno, possono eliminare degli effetti di interferenza del terreno, causando una attenuazione acustica minore di quella calcolata con le formulazioni classiche (in un limitato range di frequenza).

Questi aspetti non sono generalmente considerati nei modelli di calcolo.

ISTRUZIONI PER L'USO

ABILITÀ E CONOSCENZA

L'uso di evoluti modelli di calcolo fornisce certamente un potente strumento per valutare la distribuzione del livello di pressione sonora in ambienti esterni anche molto complessi e in presenza di numerose sorgenti di rumore.

Tuttavia, è bene ricordare che il mezzo tecnico non sopperisce mai alle carenze di conoscenze tecnico – scientifiche. Se è vero, infatti, che, utilizzando direttamente espressioni matematiche, si rende evidente la (in)competenza e l'(in)esperienza di chi sta effettuando una valutazione acustica, il modello di calcolo può talvolta mascherare queste stesse abilità. Il risultato può essere quindi drammatico, perché anche gravi errori possono passare inosservati, se non si sottopongono ad analisi critica i risultati ottenuti.

E' sempre infatti consigliabile, dopo aver utilizzato un modello di calcolo, valutare in alcuni punti di test, attraverso dei calcoli elementari, se almeno l'ordine di grandezza del risultato ottenuto dal modello risulta conforme a quello del calcolo semplificato.

In altre parole, l'abilità nell'uso dello strumento informatico non è condizione sufficiente per una corretta applicazione dei modelli matematici, in quanto mai sostituisce la competenza e la padronanza delle leggi dell'acustica.

POTENZIALITÀ E LIMITI

I modelli di calcolo godono di grandi estimatori e di altrettanto grandi detrattori. Senza voler entrare nel merito delle ragioni che portano a tali convinzioni, è importante aver consapevolezza circa le potenzialità e i limiti di un modello di calcolo.

Già nella disamina delle pagine precedenti si è detto dell'utilità di questo strumento, ma se ne è pure evidenziata la non opportunità in molteplici situazioni. In particolare, rimane aperta la questione dell'affidabilità dei dati che si ottengono dal suo impiego: pur non disponendo ancora di criteri consolidati circa la valutazione dell'incertezza di un modello di calcolo (ma dovremo fare ogni sforzo per arrivarci), si deve tener presente che, anche nei casi semplici, è difficile contenere l'errore di valutazioni previsionali al di sotto dei 2 – 3 dB(A).

In ogni caso i risultati di un modello non possono essere utilizzati per applicarli in modo puntuale a situazioni particolari (ad esempio balconi di edifici in cui la forma della facciata, con i suoi effetti di riflessione, diffrazione e diffusione, gioca un ruolo determinante nel determinare l'immissione sonora).

A maggior ragione, nell'analisi in frequenza, difficilmente si riesce ad ottenere valori per terzi di ottava così puntuali da prevedere con certezza la presenza di componenti tonali, fatte salve le situazioni in cui una sorgente sonora avente un tono puro molto marcato determini livelli sonori molto più elevati del livello sonoro residuo.

Un discorso del tutto simile può essere fatto, applicando all'analisi temporale quanto detto per l'analisi in frequenza: infatti, anche l'individuazione di componenti impulsive (penalizzabili ai sensi del DM 16 marzo 1998) risente delle incertezze connesse ai calcoli previsionali, e quindi, in genere, non risulta agevole da valutare.

DATI E DECISIONI

I modelli di calcolo forniscono dei risultati che hanno, da un lato, il compito di fotografare una determinata situazione (presente o futura), dall'altra, molto spesso, quello di determinare delle scelte (autorizzazioni, piani di risanamento, criteri di risanamento).

E' evidente che solo nel caso in cui si abbia una chiara percezione del significato reale che posseggono tali risultati (in termini di affidabilità ed estendibilità) le decisioni possono essere ben fondate. Un atteggiamento eccessivamente fideistico nel confronto dei dati ottenuti conduce spesso ad un atteggiamento di ottimismo, che può virare talvolta, per contrappasso, in una cocente delusione. Conoscere i limiti degli strumenti che usiamo (metrologici e previsionali) rende forse un po' più insoddisfatti gli interlocutori, ma li espone assai meno al rischio di dover gestire impreviste criticità.

CONCLUSIONI

L'uso dei modelli di calcolo nell'ambito del rumore ambientale richiede grande attenzione perché, se da un lato rende possibile la gestione di situazioni anche molto articolate, non è una modalità semplificata di studio di una realtà, né tanto meno automatica. Le conoscenze in merito alle caratteristiche delle sorgenti sonore e dell'ambiente, delle leggi di generazione, trasmissione e propagazione del suono, insieme con la consapevolezza dei limiti rappresentati da tali modelli, rimangono fondamentali per garantire una sicura gestione dei dati cui si perviene.