

# **METODI PREVISIONALI DEL RUMORE IN AMBIENTI DI LAVORO**

**A. Farina**

Dipartimento di Ingegneria Industriale, Via delle Scienze, 43100 PARMA

## **SOMMARIO**

La memoria riferisce sulle problematiche connesse con la previsione del livello sonoro negli ambienti di lavoro, dati i livelli di potenza delle sorgenti e le caratteristiche geometriche ed acustiche dei locali in cui esse sono installate.

Vengono citate le principali metodologie previsionali oggi diffuse, ed in particolare quelle che si prestano all'implementazione mediante algoritmi di calcolo su PC; per ciascuna vengono evidenziate le ipotesi teoriche di base, e le limitazioni che esse comportano nell'utilizzo pratico.

Vengono infine affrontati, mediante semplici esempi, i problemi dell'utilizzo di tali modelli previsionali per la stima dei Livelli di Esposizione Personale (Lep) richiesti dal D.L. 277.

## **INTRODUZIONE**

Attualmente la possibilità di operare previsioni accurate del livello sonoro in ambiente industriale è fortemente limitata, più che dalla mancanza di valide metodiche in grado di descrivere i vari aspetti della propagazione del suono in ambienti chiusi, dalla pressochè totale mancanza di informazioni riguardo alle caratteristiche di emissione delle sorgenti sonore.

Nel momento in cui, viceversa, ogni macchina o apparecchiatura rumorosa fosse corredata di dette informazioni, diventerebbe possibile in linea di principio procedere ad una valutazione previsionale dei livelli di rumorosità che si andranno a realizzare in un certo ambiente, causati dal funzionamento di tali sorgenti sonore. A tal fine è estremamente promettente l'entrata in vigore della Direttiva Macchine della CEE, che renderà presto obbligatoria la dichiarazione della rumorosità emessa da ciascuna macchina o utensile rumoroso.

Va però subito messo in chiaro che la semplice indicazione del livello complessivo di potenza sonora in dB(A) è una informazione lacunosa ed insufficiente per operare previsioni anche molto grossolane, e pertanto la misura e l'indicazione dei livelli di potenza sonora deve essere perlomeno eseguita in banda d'ottava. E' stato già mostrato

come la direttività e l'estensione finita delle sorgenti sonore debba in generale venire presa in considerazione, perlomeno se è necessario valutare il livello sonoro a distanze non elevate dalla sorgente [1]: si può infatti ritenere che tali fenomeni diano luogo a significative variazioni del livello sonoro, rispetto a quello di una sorgente puntiforme omnidirezionale, entro la cosiddetta *distanza critica*, definita come la distanza dalla sorgente sonora alla quale il contributo del campo sonoro diretto diviene uguale a quello riverberante.

Ammesso di disporre di tutte le informazioni necessarie sulle sorgenti sonore, restano da affrontare i complessi fenomeni di propagazione in spazi chiusi, aggravati dal fatto che in campo industriale le superfici sono sovente movimentate, ci sono ostacoli e zone d'ombra acustica, e le caratteristiche geometriche dei locali rendono in molti casi le teorie dell'acustica statistica (riassunte per semplicità nella formulazione di Sabine) del tutto inapplicabili.

A parte dunque casi particolarmente semplici, in cui la trattazione è possibile con semplici relazioni matematiche a tutti ben note (formula del campo semi-riverberante), occorre disporre di strumenti di calcolo numerico in grado di seguire la propagazione delle onde sonore dalla loro emissione fino all'estinzione, dopo innumerevoli interazioni con le superfici di confine, tenendo conto di quanto avviene: riflessione speculare e diffusa, assorbimento, diffrazione, interferenza. Sono disponibili numerosi approcci previsionali in grado di affrontare in tutto o in parte questa problematica: nell'ordine sono infatti stati proposti sistemi basati sulle tecniche delle Sorgenti Immagine, del Ray Tracing e del Beam Tracing.

Risolti i problemi di descrizione della sorgente sonora e del modello di propagazione, resta da definire la geometria dell'ambiente e le caratteristiche acustiche (assorbimento ed isolamento) dei materiali di cui lo stesso è contornato. A tal fine risulta generalizzato l'impiego di sistemi CAD, sia mediante personalizzazione di ambienti *general purpose* quali AutoCad (™), sia mediante CAD espressamente realizzati per scopi acustici, ed integrati da un Data Base di materiali con le opportune caratteristiche.

Problema strettamente connesso con il precedente è quello di rappresentare graficamente i risultati della simulazione: solitamente infatti lo scopo è quello di giungere ad una mappatura dei livelli sonori nell'intero ambiente, in modo da poter delimitare le aree a rischio, e calcolare il Livello di Esposizione Personale dei lavoratori in funzione del tempo da essi trascorso nelle varie zone. Esistono a questo scopo pacchetti software dedicati quali Surfer (™), già proficuamente impiegati nella rappresentazione di dati rilevati sperimentalmente.

## **2. - Rassegna delle metodiche previsionali**

In questo paragrafo vengono esaminate le principali metodiche di previsione del campo sonoro all'interno di spazi confinati, di dimensioni grandi rispetto alle lunghezze d'onda, trascurando dunque il comportamento modale delle cavità.

Inoltre vengono presi in esame particolarmente i metodi di calcolo che si prestano ad essere implementati su PC: questo perchè, come si vedrà, la corretta modellizzazione della sorgente sonora richiede comunque la manipolazione di un notevole quantitativo di dati numerici, che sarebbe molto oneroso gestire senza l'ausilio del computer. D'altro canto, la potenza di calcolo di un PC dell'ultima generazione è perfettamente adeguata alle richieste degli algoritmi più efficienti, e peraltro la disponibilità di grossi computer

vettoriali o paralleli è limitata ad una ristretta cerchia di ricercatori, cosa che non rende conveniente su tali macchine lo sviluppo di sistemi software amichevoli e facilmente integrabili.

Le principali categorie di modelli di calcolo considerati sono così riassumibili:

- Modelli basati su formule semiempiriche del campo semiriverberante, variamente modificate;
- Modelli basati sulla costruzione delle Sorgenti Immagine, con eventuale aggiunta di una coda riverberante statistica;
- Modelli "Ray Tracing" puri (Montecarlo) o modificati onde accelerarne la convergenza;
- Modelli ibridi "Ray Tracing" + "Sorgenti Immagine";
- Tracciatori di fasci divergenti, parzialmente sovrapposti o adiacenti (Cone Tracing, Beam Tracing, Pyramid Tracing).

Nella memoria [1] per ciascuno di tali modelli viene presentata una succinta spiegazione del principio di funzionamento e delle problematiche connesse alle particolari assunzioni fatte nello sviluppo del modello. Nè in tale memoria, e nemmeno in questa sede, è viceversa possibile una stima della precisione di ciascun modello, poichè essa è in gran parte legata alle schematizzazione della realtà fisica che è necessario fare per adattarla all'impiego dei modelli stessi, più che ad una intrinseca "imprecisione" di un algoritmo rispetto ad un altro.

### **3. Peculiarità dell'impiego in campo industriale**

Esistono in commercio decine di programmi di calcolo basati su una o più delle formulazioni matematiche precedentemente citate. Molti di essi sono tuttavia nati per applicazioni ben diverse dall'impiego in campo industriale, e risultano pertanto poco adatti allo scopo di valutare in sede previsionale i livelli sonori cui sono esposti i lavoratori.

Nel seguito vengono brevemente illustrati i principali fattori da tenere in considerazione per valutare la funzionalità di un programma in campo industriale.

#### **3.1 Calcolo dei livelli in ponderazione "A"**

Come è noto, sia il  $L_{ep}$  che l'  $L_{eq}$  sono da intendersi misurati con ponderazione "A". Peraltro, ben difficilmente un programma di calcolo può operare correttamente con dati espressi direttamente in  $dB(A)$ : infatti molti fenomeni di cui occorre tenere conto sono dipendenti dalla frequenza, ed in particolare l'assorbimento dell'aria, la perdita per riflessione su superfici fonoassorbenti, l'attenuazione per schermatura da parte di ostacoli, la perdita per attraversamento di pareti con potere fonoisolante finito.

Ciò significa che, nella generalità dei casi, occorre effettuare il calcolo separatamente alle varie frequenze (fornendo dunque tutti i dati ad ogni frequenza: potenza delle sorgenti, coeff. di assorbimento delle superfici, potere fonoisolante dei pannelli, etc.). Il valore complessivo in  $dB(A)$  viene poi ricostruito in base allo spettro calcolato in ciascun punto.

Molti programmi di calcolo non prevedono questa opzione, e forniscono solo il livello sonoro alle varie frequenze, senza operare il calcolo del valore complessivo in  $dB(A)$ . Questo fatto indica che tali programmi non sono stati concepiti per l'impiego in ambiente industriale, anche se è ovviamente possibile operare a mano il calcolo del  $dB(A)$  a partire dagli spettri elaborati dal programma.

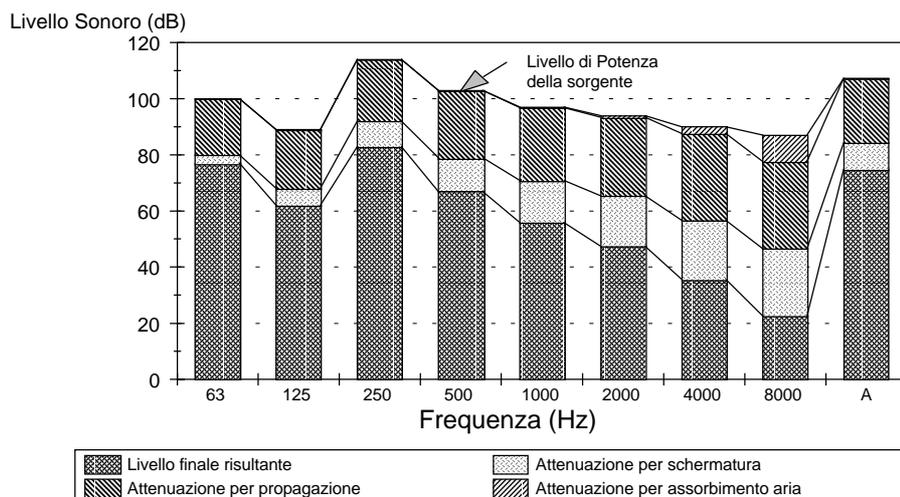


Fig. 1 - Le diverse cause di attenuazione operano con diversa entità alle varie frequenze, cosicché l'attenuazione complessiva in dB(A) può essere calcolata solo a partire dallo spettro di potenza della sorgente. Infatti, con una diversa sorgente sonora, pur restando inalterate le attenuazioni alle singole frequenze, si otterrebbero risultati diversi in banda A.

### 3.2 Ipotesi di acustica statistica

In molti programmi di calcolo, la coda sonora viene studiata con le leggi dell'acustica statistica: si ammette cioè in generale che il campo sonoro dia luogo ad un decadimento del livello che presenta ovunque la stessa pendenza (cioè lo stesso tempo di riverbero). I livelli sonori calcolati risentono inevitabilmente di tale ipotesi, tanto più quanto il punto considerato si trova lontano dalla sorgente sonora.

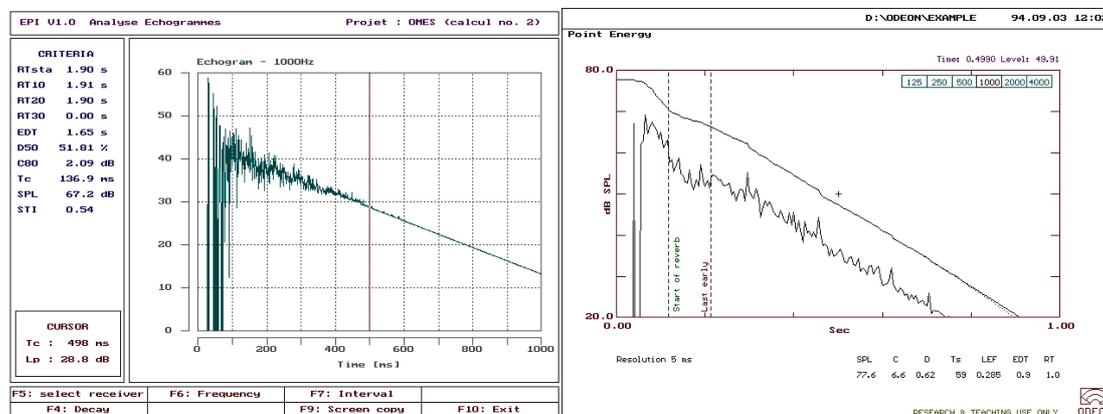


Fig. 2 - La coda sonora del programma di sinistra è del tipo perfettamente statistico, e dunque si adatta solo ad ambienti Sabiniani. La coda sonora del programma di destra è viceversa calcolata come decadimento medio nell'ambiente, e pertanto mostra fluttuazioni in tutta la sua lunghezza. Anch'essa tuttavia si adatta solo ad ambienti Sabiniani, poichè vale comunque l'ipotesi di ugual decadimento in tutti i punti. Entrambi i programmi sono stati infatti concepiti per uso nei teatri.

E' noto che gli ambienti di tipo industriale non ubbidiscono quasi mai alle leggi di Sabine, ma non è disponibile alcuna procedura semplice per correggere i risultati ottenuti da previsioni basate su ipotesi Sabiniane. E' pertanto preferibile non impiegare in ambiente industriale modelli basati su relazioni del campo semiriverberante, o modelli ibridi con coda sonora riverberante.

### 3.3 Direttività della sorgente sonora

Nella memoria [1] è stato mostrato con dettaglio come il non prendere in considerazione la direttività delle sorgenti sonore reali porti inevitabilmente ad errori anche grandi. Va qui sancito che la direttività delle sorgenti reali è sovente caratterizzata da “balloon” di emissione molto irregolari, con lobi di emissione privilegiata molto diversi alle varie frequenze.

Non è pertanto possibile definire correttamente una sorgente industriale con concetti semplificati legati alla direttività degli altoparlanti (molto più regolare), quali ad esempio l’angolo di apertura a -3 dB.

Anche nel caso che il programma consenta di impiegare dettagliati balloons di direttività rimane comunque aperto il problema del reperimento di tali informazioni.

La proposta avanzata in [1], basata sull’impiego dei dati rilevati nel corso della misura di potenza sonora secondo ISO3744, ha trovato nell’ultimo anno un impiego abbastanza limitato: la gran parte dei certificati di Potenza Sonora rilasciati non riporta infatti le informazioni necessarie al calcolo dei balloons, e questo probabilmente perchè attualmente viene richiesto dal committente soltanto il “singolo numero”, cioè  $L_{WA}$ .

Affinchè ciò diventi standard per tutte le macchine, sarebbe auspicabile che il nostro Ministero dell’Industria stabilisse un formato standard per i files contenenti le caratteristiche acustiche delle sorgenti di rumore, e ne imponesse l’impiego generalizzato a tutti gli Enti Notificati al rilascio di certificazioni CEE. L’ideale sarebbe se lo stesso Ministero raccogliesse tali dati in un data-base liberamente consultabile, ovvero se venisse reso obbligatorio allegare il dischetto con tali dati alla documentazione già prevista a corredo di ogni macchina (ma questa è fantascienza...).

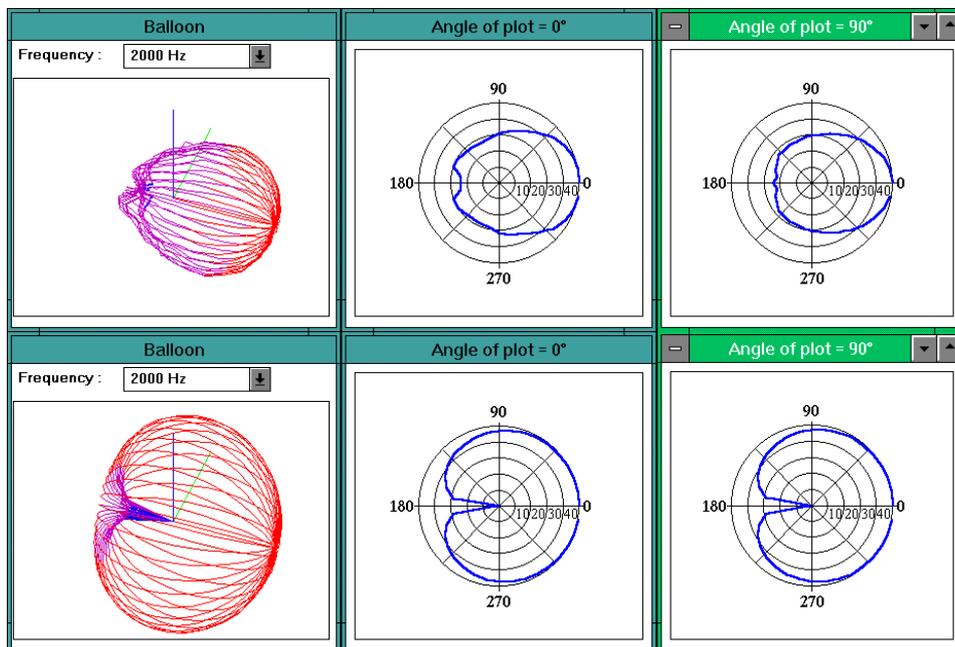


Fig. 3 - Viene illustrato il tentativo di approssimare la direttività di una sorgente reale (silenziatore scarico vapore) con una formulazione matematica semplificata (cardioide). Anche se è ovviamente possibile fare di meglio, si comprende subito come non sia in generale possibile sostituire un vero “balloon” di direttività con espressioni matematiche semplici.

### 3.4 Estensione finita delle sorgenti

Anche di questo problema è già stato dato ampio risalto in [1]. Tuttavia qui occorre mettere in luce che il problema presenta un doppio aspetto, attualmente irrisolto in **tutti** i programmi di calcolo esistenti. Infatti, la presenza di sorgenti sonore ingombranti produce, da un lato, scostamenti nella legge di diminuzione del livello sonoro diretto con la distanza rispetto all'ipotesi di campo sferico libero; dall'altro lato, l'ingombro della sorgente diviene esso stesso ostacolo o schermatura alla propagazione del suono prodotto da altre sorgenti, o dalla stessa sorgente dopo essersi riflesso sulle pareti del locale.

La soluzione al primo aspetto può in teoria ottenersi suddividendo la sorgente sonora in tante piccole sorgenti puntiformi, disposte sulla superficie della sorgente reale. Diviene però in questo caso molto difficoltoso assegnare correttamente le direttività di tali sorgenti, nonché individuare un criterio di suddivisione della potenza sonora complessiva. La pratica corrente consiste in una suddivisione in parti uguali della potenza, con sorgentine omnidirezionali. E' però molto difficile che in tal modo si ottenga la direttività complessiva, che è invece richiesta per calcolare correttamente i livelli sonori ad una certa distanza dalla sorgente.

Per quanto riguarda il secondo aspetto, sono possibili due diverse soluzioni: la prima consiste nel definire le superfici esterne della macchina come ostacoli, dotati di assorbimento e di capacità schermante; attorno ad esse viene poi collocata la "nuvola" di sorgentine puntiformi, tali da fornire il corretto livello complessivo di potenza. La seconda soluzione consta nell'utilizzo di una unica sorgente concentrata, con appropriato "balloon" di direttività, circondata da superfici "monopermeabili", che cioè si lasciano attraversare dai raggi sonori una sola volta (onda diretta uscente), e poi si comportano con i raggi riflessi (o provenienti da altre sorgenti) come normali superfici assorbenti/schermanti.

La seconda possibilità è attualmente in corso di implementazione, e pertanto non è ancora stato possibile validarne l'efficacia.

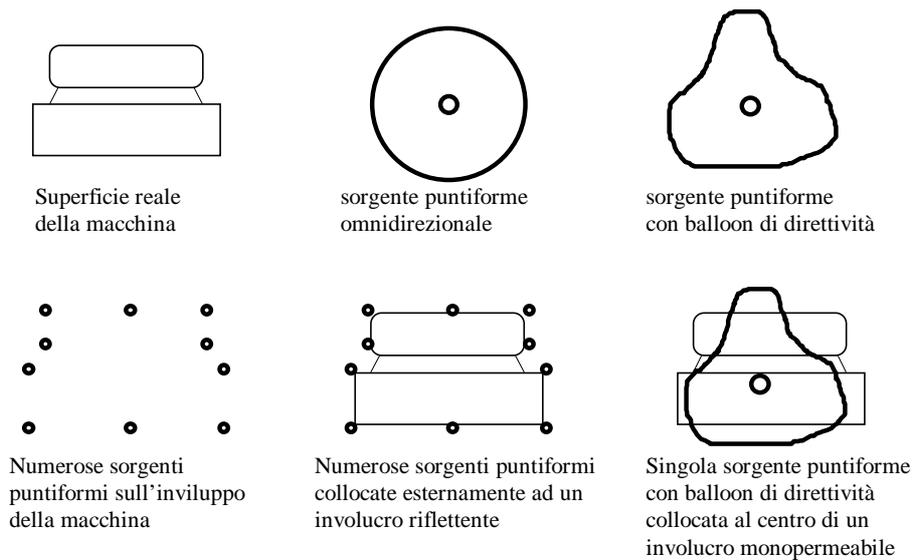


Fig. 4 - Possibili schematizzazioni di una sorgente reale, con estensione finita e marcata direttività.

### 3.5 Problema della propagazione all'aperto

In alcuni casi, la simulazione ha lo scopo di valutare la rumorosità nell'ambiente esterno: questo sia allo scopo di limitare la rumorosità ambientale (i cui limiti sono definiti dal D.P.C.M. 1 marzo 1991), sia per valutare i livelli di esposizione dei lavoratori addetti a macchinari esterni molto rumorosi (come nei cantieri, ad esempio).

Nella propagazione all'aperto diventa pressochè trascurabile il contributo legato al campo sonoro riverberante, e pertanto scompaiono tutti i problemi legati alla stima della coda sonora (che deve poter venire esclusa dal programma di calcolo). Peraltro assumono importanza molto maggiore gli effetti di schermatura da parte di ostacoli ed i fenomeni atmosferici (gradiente della temperatura e della velocità del vento), perlomeno per ricevitori lontani dalle sorgenti.

Solitamente i programmi di calcolo ottimizzati per gli ambienti chiusi hanno un comportamento più scadente all'aperto, soprattutto perchè gli algoritmi semplificati impiegati per l'attenuazione da parte degli schermi andrebbero sostituiti con altri più raffinati (la gran parte dei programmi di calcolo addirittura non considera l'effetto di schermatura da parte di ostacoli!).

Risulta inoltre difficoltoso introdurre sorgenti sonore lineari o superficiali: esse vengono per lo più riprodotte con un numero sufficientemente elevato di sorgenti puntiformi.

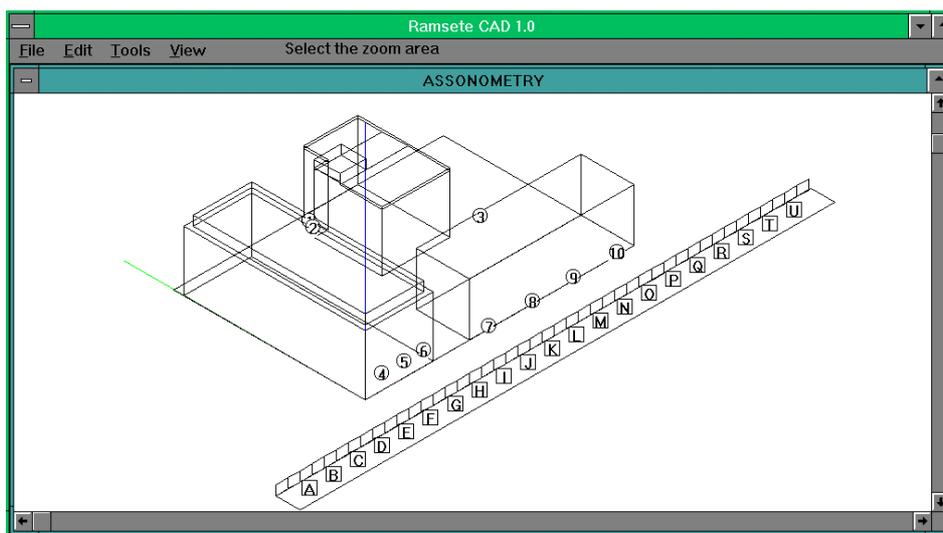


Fig. 5 - Esempio di impiego di un programma in ambiente esterno: si nota la sorgente lineare schematizzata come fila di sorgenti puntiformi, e la schermatura segmentata in tanti piccoli pannelli, onde minimizzare l'errore di calcolo dell'attenuazione.

### 3.6 Mobilità dei lavoratori

Usualmente tutti i programmi di calcolo prevedono il calcolo di un livello sonoro indipendente dal tempo, basato sull'ipotesi di stazionarietà di emissione delle sorgenti sonore. Inoltre i ricevitori sono in posizioni fissate.

Questo schema concettuale corrisponde in realtà al rilievo sperimentale di Livelli Equivalenti su periodi molto brevi, all'interno dei quali le condizioni acustiche dell'ambiente di lavoro non variano. Viceversa, nell'arco di un turno lavorativo, l'addetto è in generale soggetto a rumorosità variabile, sia per la fluttuazione

dell'emissione sonora delle sorgenti, sia perchè lo stesso si sposta da un posto all'altro per esigenze di lavorazione.

Per passare dallo schema iniziale (Livelli Equivalenti nei punti fissi) al Livello di Esposizione Personale di ciascun lavoratore, è necessario un complesso lavoro di analisi della variazione temporale delle emissioni sonore (legate ai cicli di lavorazione) e della mobilità del personale nelle aree studiate.

Attualmente i programmi di calcolo danno ben poco ausilio nell'effettuazione di queste operazioni, anche se possono venire impiegati i software realizzati per automatizzare il calcolo dei Lep a partire dai rilievi sperimentali. Sarebbe auspicabile a questo proposito un interfacciamento automatico tra il software di calcolo previsionale dei livelli sonori e quello di stima dei Lep.

Comunque, una possibilità è quella di effettuare tante simulazioni separate (una per ciascuna sorgente sonora), e combinarle poi assieme in vari modi, simulando così diversi scenari di funzionamento parziale delle macchine, senza dover rifeettuare l'intero calcolo per ciascuna configurazione. Se in ciascuna simulazione sono stati previsti tanti ricevitori quante sono le possibili posizioni dei lavoratori, diviene in tal modo possibile calcolare il Lep di ciascun addetto sommando il contributo di ciascuna configurazione, moltiplicato per la durata della stessa, nella posizione in cui il lavoratore si trovava.

E' attualmente in corso la realizzazione di un software in grado di automatizzare la procedura suddetta: grazie ad esso sarà possibile calcolare il Lep di ogni singolo dipendente, senza dover operare i calcoli della propagazione sonora decine di volte.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Livelli sonori in dB(A) in varie posizioni e												
2	per varie condizioni di funzionamento delle macchine												
3											Calcolo del Lep di un addetto		
4	Condizioni di funzionamento delle macchine												
5	Posiz. n.	A	B	C	D	E	F		Condiz.	Posiz.	Leq	Tempo (h)	Lep parz.
6	1	95.6	78.2	90.9	79.0	83.8	76.7		A	3	70.6	1	61.5
7	2	72.0	94.1	87.7	72.3	86.3	95.4		A	4	95.1	0.5	83.0
8	3	70.6	80.7	93.8	73.1	84.2	71.6		B	3	80.7	0.5	68.7
9	4	95.1	91.1	87.0	77.0	84.9	75.7		C	5	72.7	2	66.6
10	5	83.3	78.6	72.7	84.9	74.9	95.1		D	1	79.0	1.5	71.7
11	6	83.7	76.9	95.4	85.0	83.4	92.6		D	3	73.1	0.5	61.1
12	7	75.3	80.3	74.4	90.6	82.5	76.8		E	9	73.2	1	64.1
13	8	74.7	85.5	73.1	76.6	74.7	92.0		F	9	74.2	1	65.1
14	9	73.5	90.2	86.0	73.2	86.6	74.2						
15	10	89.9	89.5	87.1	85.9	71.2	86.4					<b>Lep totale =</b>	<b>83.7</b>

Fig. 6 - impiego di uno Spreadsheet per calcolare il valore del Lep a partire dai valori di Leq calcolati in varie posizioni ed in diverse condizioni di funzionamento delle macchine.

#### 4. Aspetti pratici legati all'utilizzo dei programmi di simulazione

Si è sinora parlato soprattutto del "motore" dei software di simulazione, cioè del sottoprogramma che opera materialmente i calcoli. Affinchè esso diventi operativo praticamente, occorre tuttavia che ad esso vengano forniti tutti i dati in ingresso necessari. Inoltre anche i risultati del calcolo richiedono di essere rappresentati in varie forme (tabellari, grafici, mappature, etc.).

Il singolo utente interagisce infatti con il programma di calcolo tramite la cosiddetta "interfaccia utente", che costituisce il canale biunivoco di comunicazione fra l'uomo e la macchina.

Nel corso dell'evoluzione del software si sono via via affermate diverse interfacce utente, che nel seguito vengono brevemente elencate:

- Modo carattere, interprete di comandi (es. MS-DOS): l'utente si trova davanti ad uno schermo vuoto, con un piccolo "prompt" lampeggiante. Il computer aspetta un comando, che l'utente deve dattiloscivere con esattezza. In pratica l'utente deve conoscere una specie di "linguaggio" con il quale dare comandi al computer, che li esegue. I risultati dell'esecuzione del comando possono anche essere di tipo grafico, ma l'utente può intervenire su tali grafici solo mediante altri comandi.

- Modo carattere, menu a tendina o a rotolo (es. WORD per DOS): l'utente si trova davanti ad un menu di possibili scelte, che possono essere effettuate con i tasti cursore o con il mouse. I sistemi più evoluti prevedono anche una sorta di "help in linea", per cui viene visualizzata una riga di spiegazioni non appena si seleziona una delle voci del menu.

- Interfaccia grafica, menu a tendine + finestre di dialogo (es. Macintosh, Windows): l'utente ha come prima a disposizione un menu, ma ora si trova in un ambiente grafico, in cui è possibile impaginare il singolo pixel di schermo. L'esecuzione dei comandi che richiedono un input da tastiera comporta la comparsa sullo schermo di finestre aggiuntive, con campi editabili dall'utente.

- Interfaccia grafica, menu a bottoni o icone (es. WinWord): in questo caso il menu è costituito da bottoni grafici, su ciascuno dei quali è visibile un disegno che richiama alla mente il comando corrispondente. Molti utenti trovano più comodo tale sistema, ma altri preferiscono vedere il "nome" dei comandi, anziché scervellarsi per indovinare cosa mai vorrà dire uno strano disegno.

Nell'ambito di uno stesso programma possono coesistere anche varie interfacce utente diverse: ad esempio, l'ultima versione di AutoCad 12 per Windows presenta un'area per l'interprete dei comandi, un menu a rotolo in modo carattere, un menu a tendina in modo grafico con finestre di dialogo ed infine un "Button Panel" trascinabile ovunque.

E' sicuro che l'utente preferisce utilizzare programmi con interfaccia grafica, di impiego facile e con comandi aventi nomi (e funzioni) uguali a quelle dei programmi da lui già impiegati. In alternativa, dopo aver impiegato anni ad imparare un complesso linguaggio di descrizione degli oggetti (quale quello di AutoCad), egli può ritenere preferibile continuare a muoversi in tale ambiente.

Ecco il motivo per cui i software di previsione del campo acustico si sono orientati verso tre diversi tipi di interfaccia utente:

- 1) Completa integrazione in ambienti grafici già affermati (AutoCad);
- 2) Realizzazione di una interfaccia utente semplice e facile da imparare, basata sull'uso di menu, con decodifica dei files grafici di AutoCad;
- 3) Integrazione nell'ambiente grafico Windows, cui viene affidata gran parte dell'interazione con l'utente tramite i cosiddetti Common Dialogs.

Per quanto riguarda l'interazione con AutoCad, va detto che essa viene vantata praticamente da tutti i software. Essa però è effettiva e completa solo per quelli che "girano" direttamente entro l'ambiente AutoCad, mentre per gli altri si parla di sottoprogrammi di conversione dei files di Autocad nel formato proprietario del programma di simulazione acustica, o (raramente) viceversa.

Va infine chiarito che realizzare un modello tridimensionale di un ambiente (che è indispensabile per l'elaborazione acustica) è ben altra cosa che disegnare pianta e sezione dello stesso: la gran parte degli operatori CAD utilizza usualmente AutoCad come programma di disegno 2D, e l'estensione 3D dei disegni, nel formato richiesto per l'importazione nei programmi di calcolo acustico, è sovente molto laboriosa. Per questo

motivo alcuni programmi di calcolo acustico si sono dotati di un vero e proprio CAD tridimensionale dedicato.

Rimane infine da descrivere il problema della visualizzazione dei risultati. Ogni programma di calcolo ha le proprie routines a ciò dedicate, ma soprattutto per quanto riguarda la realizzazione di grafici bidimensionali (spettri, curve di decadimento, etc.) la maggior parte degli utenti preferisce poter gestire direttamente i dati mediante lo spreadsheet preferito (Quattro Pro, Excel), oppure importarli direttamente nel programma di videoscrittura, che già incorpora la graficazione dei dati tabellari (WinWord). E' pertanto importante che i risultati dell'elaborazione siano accessibili ad altri programmi, sia mediante files di testo facilmente leggibili e separati da virgole, sia mediante l'impiego della "clipboard" per trasferire dati da un'applicazione all'altra.

Discorso a parte merita la mappatura mediante zone di colore o curve isolivello: in questo campo chi si occupa di acustica ha sovente già avuto a che fare con un software dedicato (ad es. Surfer), e pertanto gradisce esportare verso tale ambiente i risultati dell'elaborazione. Va anche detto che l'esecuzione di mappature multicolori è molto suggestivo, ma di scarsa utilità pratica per chi deve valutare i Livelli di Esposizione di un gruppo di lavoratori.

## **5. Conclusioni**

Pur senza entrare nei dettagli e nelle peculiarità dei singoli programmi, sono stati esaminati i principali problemi che tuttora ostacolano la diffusione dei codici di calcolo per la previsione della rumorosità in ambito industriale.

Solo una parte dei problemi esposti è di competenza di chi sviluppa questi software; infatti la disponibilità di accurati dati in ingresso, indispensabili per operare simulazioni credibili, dipende soprattutto dal trend normativo e legislativo, e dall'affermarsi di uno "standard" di mercato per quanto riguarda i dati acustici da fornire a corredo di ogni apparecchiatura potenzialmente rumorosa.

Il prossimo sviluppo della ricerca in questo settore passa necessariamente attraverso l'esecuzione di comparazioni quantitative (round robin, benchmark) fra i risultati ottenibili con diversi modelli previsionali, come è già stato fatto con successo sia per i modelli di previsione del rumore da traffico stradale, sia per quelli dedicati allo studio dei teatri.

## **7. Bibliografia**

- [1] Farina A - "Previsione del rumore in ambiente di lavoro a partire dai dati di potenza sonora" - Atti del Convegno "Rumore e Vibrazioni: Certificazione delle Macchine", Modena, 2-3 Dicembre 1993.