

Nuovi approcci modellistici e progettuali per la riduzione dei rischi in ambienti industriali complessi

S.Luzzi ¹, L. Busa ¹, F.Borchi ¹, A. Amatruda ², M. Montellanico ³

¹ *Vie En.Ro.Se. Ingegneria* - ² *IGEAM* - ³ *Unilever SpA*

Introduzione

Gli scenari industriali complessi sono caratterizzati da notevole ampiezza degli ambienti, elevato numero di sorgenti e tipologie di rischio, distribuzione critica delle postazioni operatore, vincoli di vario tipo (strutturale, funzionale, igienico-sanitario). La riduzione dell'esposizione dei lavoratori ai diversi rischi presenti in questi scenari richiede la definizione di specifici percorsi analitici e progettuali.

Le scale di priorità proposte dagli approcci normativi più recenti, definiscono come più efficaci gli interventi di bonifica che portano a garantire il rispetto dei limiti, cercando di ridurre al minimo, nei limiti del possibile e della mantenuta garanzia di efficacia, le limitazioni alla mobilità interna agli stabilimenti e le prescrizioni relative al confinamento di aree e all'utilizzo obbligatorio dei Dispositivi di Protezione Individuale.

Per quanto riguarda il rischio rumore, inoltre, l'approccio modellistico risulta certamente complesso trattandosi di un campo diffuso o comunque semi-riverberante con presenza di numerose sorgenti.

In questa memoria si riporta in sintesi un approccio modellistico che è stato sperimentato nella progettazione di alcuni interventi di bonifica e mitigazione del rischio rumore all'interno di un grande stabilimento del comparto alimentare.

Inquadramento Legislativo

Il D.Lgs. 81/2008, nelle disposizioni miranti ad eliminare o ridurre i rischi prevede che si tenga conto del progresso tecnico e della disponibilità di misure per controllare il rischio alla fonte, e che l'eliminazione o minimizzazione dei rischi derivanti dall'esposizione agli agenti fisici avvenga prioritariamente mediante interventi alla fonte, attuando le misure di prevenzione e protezione che vengono sinteticamente riportate nell'articolo 192. Fra queste ricordiamo l'adozione di metodi di lavoro che implicano una minore esposizione al rumore, la scelta di attrezzature di lavoro adeguate, tenuto conto del lavoro da svolgere, che emettano il minor rumore possibile e, soprattutto, nel contesto di cui si tratta in questo lavoro, della corretta progettazione della struttura dei luoghi e dei posti di lavoro.

Nella progettazione del layout dello stabilimento, ovvero della disposizione di sorgenti e postazioni devono essere adottate misure tecniche per il contenimento del rumore trasmesso per via aerea, quali schermature, involucri o rivestimenti realizzati con materiali fonoassorbenti, e del rumore strutturale, quali sistemi di smorzamento o di isolamento.

A questi si uniscono i programmi di riduzione del rumore mediante una migliore organizzazione del lavoro attraverso la limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione e l'adozione di orari di lavoro appropriati, con sufficienti periodi di riposo.

Materiali e Metodi

In termini generali, si può affermare che l'efficacia di un intervento di bonifica decresce all'aumentare della distanza dalla sorgente, ma in contesti multi-sorgente di campo sonoro diffuso quali sono gli scenari industriali complessi, l'analisi complessiva dei contributi relativi prodotti dalle diverse sorgenti, incluse quelle più distanti dalla postazione dell'operatore esposto, può risultare decisiva.

I comuni interventi di bonifica legati alla modellistica "classica" di interruzione della propagazione del rumore mediante l'apposizione di schermi o barriere acustiche, possono risultare poco efficaci, non verificandosi praticamente mai condizioni di campo libero. Resta ovviamente ferma l'idea base della progettazione acustica che siano comunque da privilegiare gli interventi diretti di mitigazione sulle sorgenti, in quanto capaci di ridurre la potenza sonora associata alle sorgenti stesse o alle sorgenti equivalenti interessate dall'intervento di bonifica. Si devono però considerare nella generazione e propagazione del rumore in ambito industriale, e nella relativa modellistica che sta alla base della progettazione degli

interventi, i numerosi e significativi contributi provenienti dalla presenza, negli scenari tipici, di numerose sorgenti e di altrettante numerose superfici riflettenti o assorbenti che modificano in modo decisivo le leggi di propagazione del suono (e del rumore) rispetto alle condizioni di campo libero, aggiungendo parametri legati alla forma e alla dimensione delle superfici stesse, così come ai materiali di cui sono formate.

Da qui l'idea di utilizzare un approccio modellistico diverso da quello classico, che, a partire dai principi e dai parametri tipici della room acoustics, suddivide l'ambiente in sub aree, delimitate da superfici reali o "virtuali".

La procedura di intervento progettuale comprende tre fasi: analisi acustica dello scenario complesso e individuazione delle aree critiche e delle sub aree da modellare, costruzione del modello acustico in sub aree e validazione attraverso campagne fonometriche dedicate, progettazione esecutiva degli interventi.

L'applicazione di questa procedura metodologica, porta alla progettazione acustica di interventi di bonifica ottimizzati dal punto di vista della modularità e della economicità, da inserire in piani aziendali fattibili ed efficaci per la mitigazione del rumore, ottimizzando il rapporto costo/beneficio di tutti gli interventi.

Il metodo è stato applicato con successo in casi studio di settori produttivi diversi. La procedura è stata adattata e applicata a progetti di bonifica riguardanti aziende dei settori cartario, tessile, alimentare e servizi, caratterizzate da ambienti di lavoro con elevate volumetria e complessità produttiva.

In questa memoria si riporta il caso studio dello stabilimento UNILEVER di Caivano (Napoli), dove la metodologia di progettazione è stata applicata a due linee di produzione aventi caratteristiche di particolare complessità modellistica.

Il Caso Studio

Lo stabilimento UNILEVER di Caivano, destinato alla produzione alimentare, è costituito da un corpo centrale a pianta rettangolare di dimensioni pari a circa 125 x 65 m, con una copertura a capanna ed un'altezza massima di colmo pari a 12 m. La zona scelta per studiare le due linee di produzione, oggetto del presente caso studio, è delimitata lateralmente dalle pareti dei tunnel di raffreddamento delle linee di produzione adiacenti ed ha dimensioni pari a circa 20 x 65 m. Questa parte di stabilimento è stata a sua volta suddivisa in 6 sub-aree omogenee per consentire una migliore caratterizzazione acustica degli spazi e dei materiali ivi presenti.

Nell'adattamento della procedura, come già sperimentato negli altri casi, si è ritenuto opportuno considerare e condividere con i responsabili della gestione della sicurezza dello stabilimento la definizione degli scenari applicativi. Sono stati così individuati gli ambiti di studio, ovvero le porzioni dello stabilimento da studiare in forma separata secondo la metodologia sopra descritta. Ciascuno scenario è stato caratterizzato acusticamente individuando e caratterizzando le sorgenti di rumore interne ad esso e definendo le superfici reali e virtuali che lo delimitano. Di queste ultime sono stati rilevate o definite le caratteristiche tenendo conto dei materiali di cui si compongono e della presenza delle immissioni di rumore provenienti da eventuali sorgenti significative presenti negli ambiti confinanti. Ciascun ambito è stato così contornato da un sistema di elementi con caratteristiche acustiche riflettenti o assorbenti, secondo le regole di caratterizzazione previste dalla normativa specifica.

In particolare si è quindi proceduto al calcolo dei tempi di riverberazione, e alla caratterizzazione acustica degli scenari (sorgenti e superfici di separazione virtuali) applicando la metodologia della Norma UNI EN ISO 3744:2010, che fornisce un metodo per determinare il livello di potenza sonora di una o più sorgenti di rumore mediante i livelli di pressione sonora misurati su una superficie che involuppi la macchina o l'insieme di macchine in un ambiente prossimo a uno o più piani riflettenti.

Ultimata la suddivisione dello stabilimento in scenari critici, si è proceduto all'adattamento del coefficiente di assorbimento delle superfici che li delimitano, con riferimento ai tempi di riverberazione misurati.

Le superfici virtuali che definiscono geometricamente ciascuna parte di stabilimento modellata (involucro virtuale) sono caratterizzate da livelli di assorbimento che dipendono dalla presenza o meno di superfici (altri macchinari, pareti, ...), che possono ostacolare la propagazione o favorirla a seconda delle rispettive caratteristiche fono isolanti e/o fonoassorbenti.

Sono state effettuate campagne di misura diretta nell'ambiente e questo ha permesso di ben calibrare il modello evitando approssimazioni grossolane, soprattutto in ambienti in cui si trovano molteplici e diversi macchinari e varie tipologie di oggetti che influenzano la riverberazione all'interno degli scenari di simulazione.

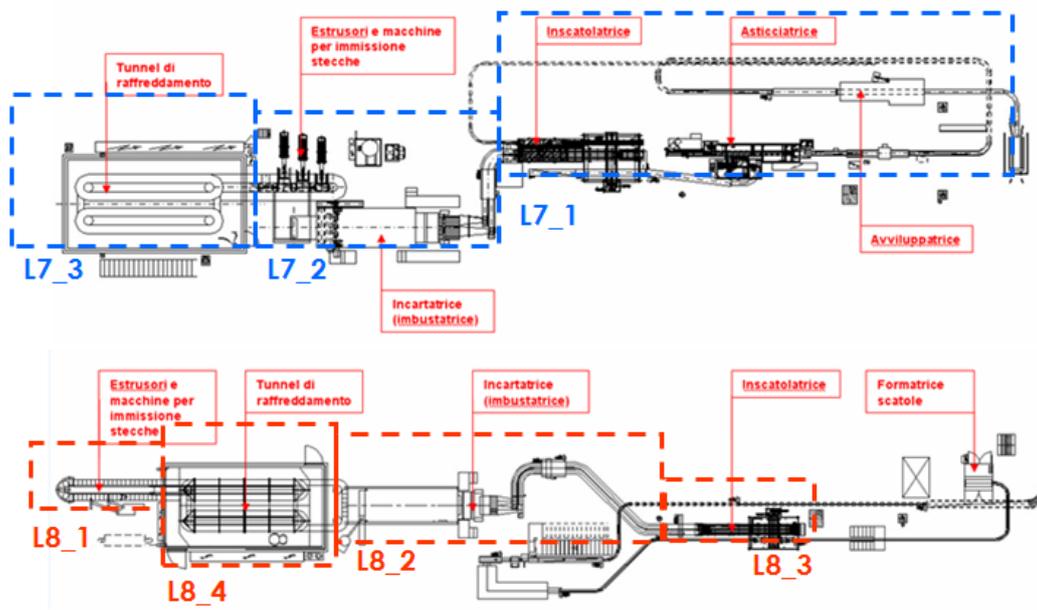


Figura 1 – Delimitazione geometrica degli scenari nelle due linee di produzione complesse

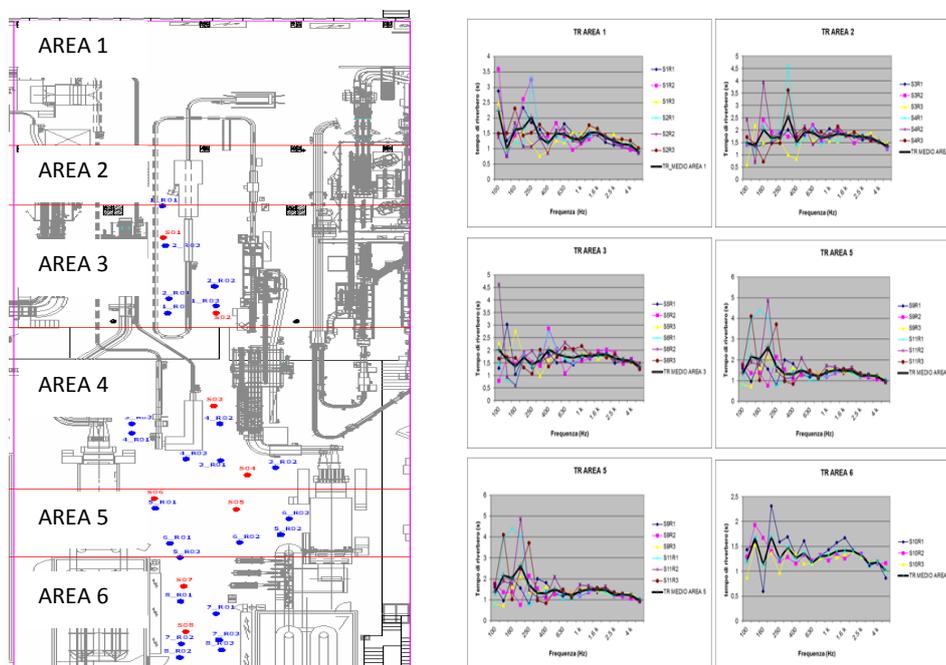


Figura 2 – Suddivisione dello stabilimento in aree di studio e risultati delle misure di tempo di riverbero in ciascuna sub-area

Durante i sopralluoghi effettuati, grazie alla collaborazione dei responsabili della gestione della sicurezza dell'azienda, è stato possibile ben definire i materiali presenti all'interno dello stabilimento (pavimenti, rivestimenti, arredi, ecc.), necessari alla costruzione del modello tridimensionale dettagliato che è servito poi per valutare numericamente le varie ipotesi progettuali finalizzate alla mitigazione delle condizioni rumorose rilevate.

Per ciascuna area di studio le superfici interne, in particolare quelle non riferibili ad un materiale specifico, sono state caratterizzate tarando il modello attraverso il confronto tra i tempi di riverbero misurati e simulati nelle stesse postazioni di misura. Nella costruzione del modello tridimensionale, effettuata facendo uso del modellatore Ray Cad del Package software RAMSETE (vedi figura 5) la sorgente e le postazioni microfoniche sono state posizionate nelle posizioni corrispondenti alle postazioni di misura, per poter effettuare il confronto e la validazione.

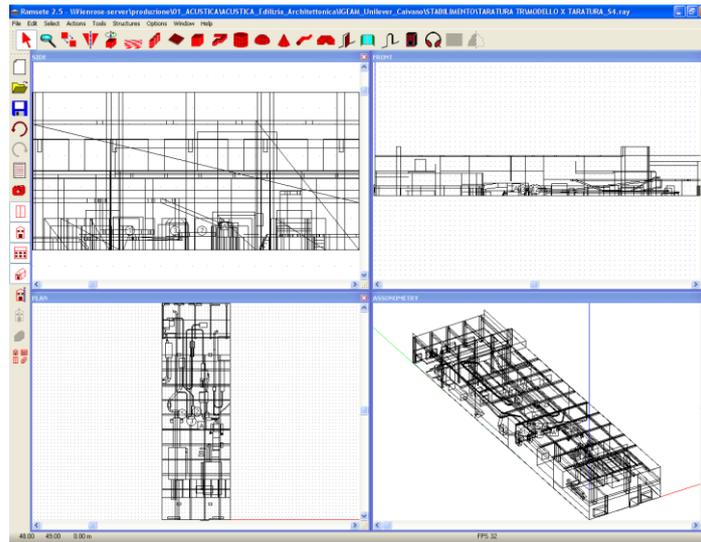


Figura 3 – Esempio di schermata del modellatore Ray Cad di Ramsete

Una volta costruite le sorgenti e definite la geometria e i materiali presenti nel modello tridimensionale validato, è stato possibile definire diverse tipologie di interventi volti alla mitigazione del rumore e testarne l'efficacia acustica attraverso l'inserimento di queste nel modello acustico.

In linea generale sono state valutate tre tipologie di interventi:

- interventi diretti sulle macchine mediante rivestimento di alcune parti per la riduzione del rumore diretto;
- interventi sull'ambiente mediante inserimento di unità fonoassorbenti per la riduzione della componente riverberata del rumore;
- combinazione di interventi diretti sulle macchine e di interventi sull'ambiente.

E' stata quantificata l'efficacia acustica delle diverse ipotesi progettuali in termini di attenuazione del livello di pressione sonora post operam in ciascuna delle postazioni esaminate, considerando le diverse possibili opzioni per i sistemi e i materiali da impegnare per la mitigazione acustica.

In figura 4 sono rappresentati schematicamente gli interventi sulle macchine e sull'ambiente. In Tabella 1 è riportata una sintesi del confronto di efficacia delle diverse misure progettuali.

Dall'esame comparato dei benefici acustici prodotti dalle diverse soluzioni, è possibile scegliere la combinazione e la successione ottimale degli interventi da mettere in pratica.

La conclusione del percorso di progettazione acustica è la stesura del progetto esecutivo che tiene conto dei vincoli funzionali legati alle caratteristiche dei processi produttivi, alla movimentazione, alla presenza e al funzionamento di tutti i macchinari dello stabilimento che influenzano le postazioni operatore. A questo segue la verifica di efficacia degli interventi progettati, successiva all'installazione. Durante la posa in opera è prevista la presenza dei progettisti acustici al fianco degli incaricati della direzione dei lavori, per poter assistere le imprese nella delicata fase di posa in opera.

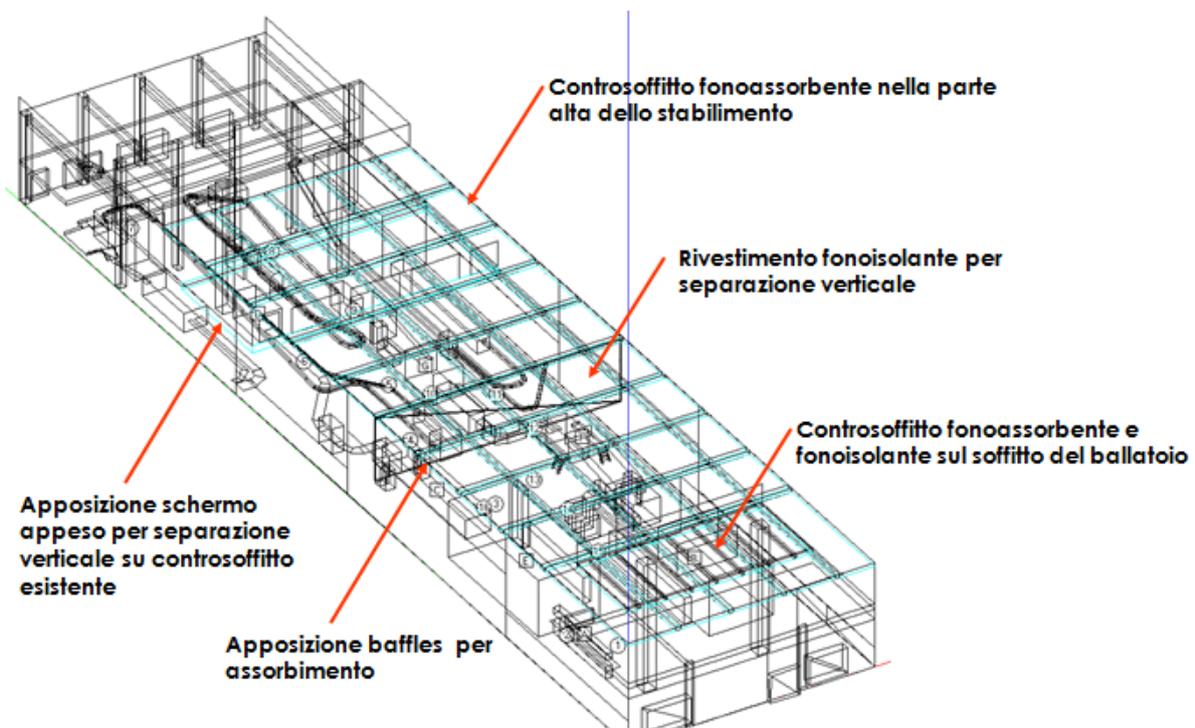
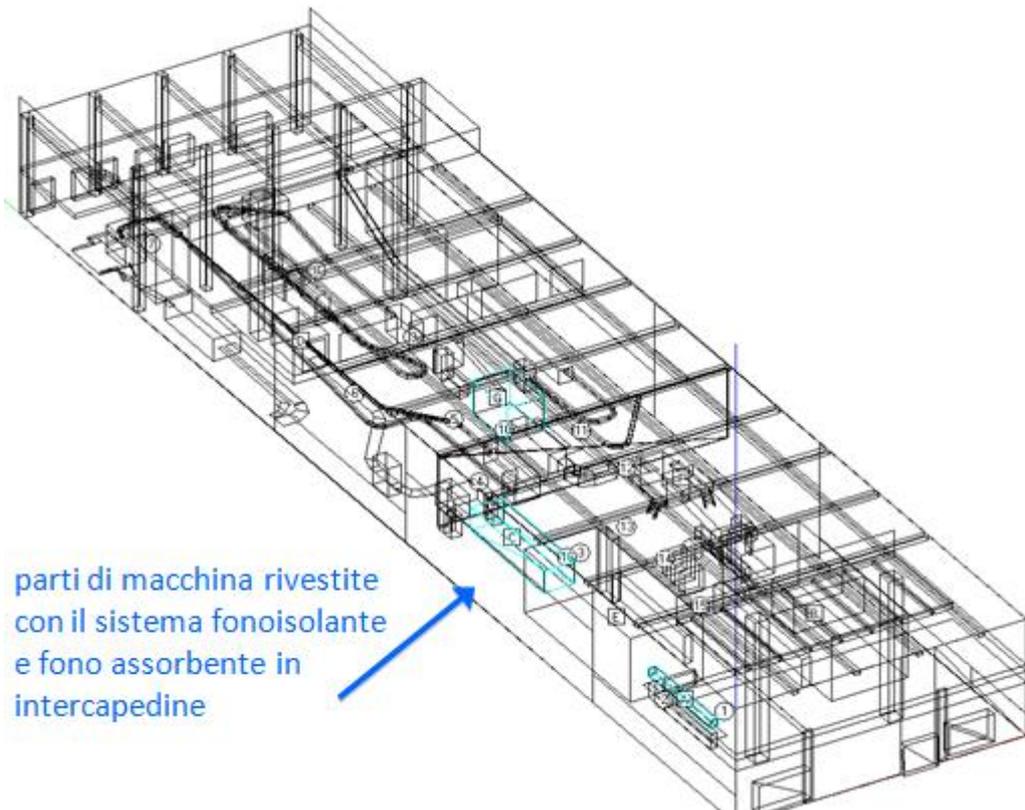


Figura 4 – Interventi sulle macchine e sull'ambiente

Tabella 1 - Efficacia delle misure di bonifica

Postazioni	Attenuazioni dei livelli di pressione sonora post-ante dB(A)		
	POST-OPERAM 1 (Interventi sulle macchine)	POST-OPERAM 2 (Interventi sull'ambiente)	POST-OPERAM 3 (Interventi su macchine e ambiente)
1	-1,1	-2,3	-3,4
2	-1,9	-1,4	-3,3
3	-1,5	-3,2	-4,8
4	-0,6	-3,4	-3,5
5	-1,3	-3	-4,5
6	-0,9	-2,4	-3,3
7	-0,3	-1,6	-1,4
8	-0,1	-2,2	-2,1
9	0,2	-2,3	-1,5
10	-0,2	-3,4	-2,9
11	-0,8	-3,6	-3,9
12	-0,9	-3,4	-4,1
13	-0,9	-3,3	-3,8
14	-1	-3,4	-4,3
15	-1	-3,6	-4,3
16	-1,9	-2,8	-4,9

Ulteriori sviluppi

Dal confronto con i responsabili dello stabilimento, in fase di presentazione del progetto, sono emerse indicazioni per possibili sviluppi della metodologia che possono riguardare la definizione di uno o più valori soglia-obiettivo, a cui far corrispondere indici di efficacia dell'attuazione del piano di bonifica.

La definizione di valori di soglia-obiettivo della bonifica (specifici e condivisi con l'organo di controllo) per l'esposizione dei lavoratori di una determinata area, potrebbe diventare un riferimento per la modellistica e la progettazione degli interventi: i valori possono ovviamente essere definiti sia considerando i canonici valori limite previsti dalla Legge che come valori ad essi inferiori, per tener conto delle incertezze o di ragioni di opportunità, valori da raggiungere anche mediante miglioramenti progressivi legati a fattibilità tecnica e/o sostenibilità economica delle soluzioni proposte.

Il rispetto del valore obiettivo prescelto dovrà ovviamente essere verificato in tutte le postazioni fisse o mobili di una determinata area/scenario. Ad esempio nello specifico dello stabilimento, se si applica il metodo a un'area caratterizzata per i valori di esposizione ante operam dall'obbligo di uso dei DPI, la riduzione progressiva dell'obbligo di utilizzo dei dispositivi può essere quantificata e considerata come indice di efficacia degli interventi e di progressiva attuazione del Piano Aziendale di Bonifica.

Per quanto riguarda infine l'utilizzo dei modelli qui presentati a scala di stabilimento e come strumento tecnico per la definizione e la progressiva attuazione dei Piani di Risanamento Aziendale previsti dalla Legge, risulta necessario un passaggio di integrazione modellistica. In pratica, si deve prevedere un modello acustico di stabilimento, o di macro-area, comprendente tutti gli scenari (ovvero le sub-aree) reali e virtuali acusticamente interconnessi, considerando in modo non separato gli effetti derivanti dalle sorgenti lontane su tutte le postazioni uno scenario critico per poi procedere al raggruppamento di scenari vicini, ponendoci l'obiettivo di eliminare la criticità complessiva di essi, ovvero il superamento del valore di soglia massimo degli scenari del gruppo.

Conclusioni

La configurazione tipica degli scenari interni agli stabilimenti industriali, in presenza di numerose sorgenti attive contemporaneamente all'interno di un campo sonoro diffuso o comunque semi-riverberante, risulta di difficile modellazione acustica utilizzando standard di propagazione più semplici con ridotto numero di riflessioni tipicamente utilizzati in campo aperto. Maggiori e positivi spunti di buona rappresentazione modellistica possono invece derivare dalla considerazione dei parametri di acustica architettonica che normalmente si utilizzano per la definizione della qualità acustica degli spazi chiusi. Tuttavia, anche in questo caso l'approccio classico di taratura dei modelli, basato sull'attivazione singola delle sorgenti non risulta attuabile a causa dell'impossibilità di spegnimento delle sorgenti.

Gli autori di questo lavoro hanno derivato un metodo, basato sulla modellazione acustica in sub-aree, delimitate da superfici reali o virtuali, che permette di realizzare la taratura del modello in una sub-area mantenendo le sorgenti delle altre sub-aree accese. Il metodo proposto è stato applicato con successo nella modellazione acustica di due linee complesse dello stabilimento UNILEVER di Caivano (NA).

BIBLIOGRAFIA

1. **Decreto Legislativo n. 81 / 2008** Testo unico in materia di sicurezza sul lavoro, Articoli 182 e 192
2. **Norma UNI EN ISO 3744** Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora e dei livelli di energia sonora delle sorgenti di rumore mediante misurazione della pressione sonora (2010)
3. **S. Luzzi, L. Busa, F. Borchi**, A room acoustics approach for reducing noise in complex industrial scenarios, 21st International Congress on Sound and Vibration, Beijing (2014)
4. **S. Luzzi, L. Busa, A. Rogers**, Acoustic design of public spaces, Rivista Italiana di Acustica, Italian Journal of Acoustics, Vol.37, no. 3-4, 35-42, (2013)
5. **S. Luzzi**, Vivere e Lavorare in Sicurezza, Ed. San Marco, Bergamo, Italy, 194-210, (2012).