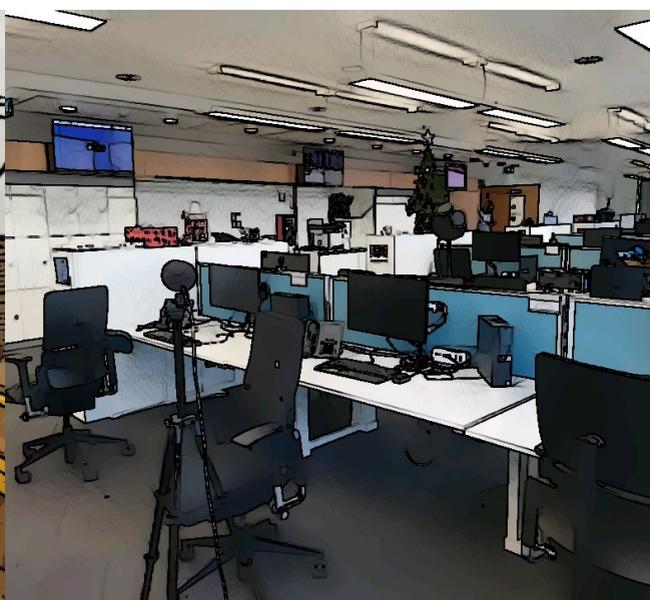
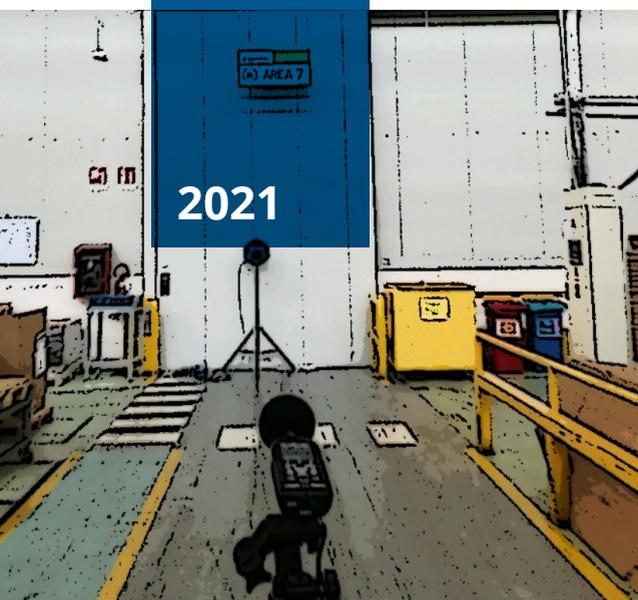


CORRETTA PROGETTAZIONE ACUSTICA DI AMBIENTI DI LAVORO INDUSTRIALI E NON

INAIL

Manuale operativo

2021



COLLANA SALUTE E SICUREZZA

CORRETTA PROGETTAZIONE ACUSTICA DI AMBIENTI DI LAVORO INDUSTRIALI E NON

INAIL

Manuale operativo

2021

Pubblicazione realizzata da

Inail

Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

Coordinamento scientifico

Pietro Nataletti¹

Autori

Monica Carfagni², Stefano Baldini², Lapo Governi², Rocco Furferi², Yary Volpe², Pietro Nataletti¹, Diego Annesi¹

In collaborazione con

Vie en.ro.se. Ingegneria s.r.l.
PIN s.c.r.l.

Editing e grafica

Emanuela Giuli¹, Tiziana Ursicino¹

¹ Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

² Università degli studi di Firenze - Dipartimento ingegneria industriale

per informazioni

Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale
Via Fontana Candida, 1 - 00078 Monte Porzio Catone (RM)
dmil@inail.it; p.nataletti@inail.it
www.inail.it

©2021 Inail

ISBN 978-88-7484-691-7

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nelle pubblicazioni, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.

Le pubblicazioni vengono distribuite gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

PREMESSA

Il luogo di lavoro propriamente detto rappresenta una parte integrante e importante dell'habitat, ovvero del contesto di vita, le cui caratteristiche permettono a una comunità di svilupparsi e progredire. In quanto tale, l'ambiente di lavoro si collega agli ecosistemi e ai modelli di sviluppo e, in questi ambiti, al pari degli altri elementi che caratterizzano gli habitat, influenza la qualità della vita delle comunità che lo abitano.

Negli ambienti di lavoro l'esposizione al rumore rappresenta uno dei fattori che maggiormente influenza la qualità percepita dei luoghi. L'inquinamento acustico, prodotto da sorgenti interne ed esterne, determina scenari nei quali ai livelli di rischio uditivo ed extra-uditivo per la salute dei lavoratori, si uniscono livelli di peggioramento e degrado della qualità e della vivibilità degli ambienti, con conseguenze spesso legate a bassi livelli di produttività e difficoltà di concentrazione. Inoltre, accade spesso che in questo tipo di contesti il rumore prodotto dalle macchine e dalle attività lavorative sia amplificato dalla riverberazione presente, soprattutto se si tratta di ambienti non adeguatamente studiati e trattati dal punto di vista del comfort acustico.

Allo stato attuale le disposizioni contenute nel d.lgs. 81/2008 (e s.m.i.) che interessano i rischi fisici, e in particolare la valutazione del rischio rumore, sono ampiamente consolidate nella maggior parte dei contesti di lavoro in riferimento alla valutazione dell'esposizione al rumore dei lavoratori. Tuttavia, non è altrettanto diffusa la pratica di una progettazione acustica corretta dei luoghi di lavoro nei quali spesso si rilevano livelli di rumorosità superiore ai valori di azione previsti dal d.lgs. 81/2008. Inoltre, con l'evoluzione del concetto stesso di 'luogo di lavoro', legato allo sviluppo delle tecnologie informatiche e ai nuovi modelli economici dominanti, è da considerare una possibile nuova visione aggiornata delle categorie ambientali di lavoro e delle metodiche che hanno fin qui caratterizzato la valutazione e la bonifica del rumore in ambito occupazionale. Vi sono nuove e diverse sorgenti acustiche, nuove e diverse postazioni, condizioni e tempistiche di lavoro. Ferme restando le procedure di valutazione dei rischi che si sono affermate e aggiornate nel decennio di attuazione delle disposizioni del d.lgs. 81/2008, si hanno sempre maggiori evidenze di nuove correlazioni tra qualità degli ambienti di lavoro e situazioni di disagio occupazionale, che meritano considerazione e, ove possibile, la definizione di nuove metodologie valutative da affiancare alle suddette procedure.

Negli ambienti di lavoro, così definiti, la progettazione degli elementi di funzionalità e di sicurezza può essere contemporanea e integrata con la progettazione delle fonti di benessere percepito. Analogamente la considerazione, la conoscenza e la catalogazione di nuove patologie extra-uditive e di nuove forme di malessere 'da edificio malato', derivanti da carenza di comfort ambientale, può portare a nuovi e diversi modelli valutativi, rispetto a quelli basati sulle consolidate procedure metrologiche e analitiche stabilite dal d.lgs. 81/2008. Ma soprattutto, in questa nuova ottica, è la progettazione dei nuovi ambienti di lavoro e delle modifiche agli ambienti esistenti che può attingere alle

esperienze di global comfort design dell'ambiente costruito per tutti gli aspetti legati alla definizione, correzione e qualificazione dei suoni che contribuiscono a rendere gradevole la fruizione di un ambiente e la protezione dai rumori che lo disturbano. Da qui, la necessità di un approccio innovativo al controllo del rumore negli ambienti di lavoro, che vada oltre il mero rispetto dei limiti acustici e consideri i contesti culturali e funzionali degli spazi regolamentati.

Con particolare riferimento all'esposizione al rumore dei lavoratori, l'evoluzione che ha subito il luogo di lavoro, in termini di nuove attività di lavoro e conseguente modifica del contesto lavorativo, in aggiunta a una diversa e maggiore sensibilità verso le tematiche del benessere psicofisico, ha reso necessario procedere all'evoluzione e l'aggiornamento delle procedure di analisi e progettazione acustica dei luoghi di lavoro. A partire da queste premesse, i risultati contenuti in questo manuale sono tratti dalle esperienze di ricerca del progetto intitolato 'Definizione di linee guida innovative, basate sullo stato dell'arte attuale, ai fini della progettazione, costruzione, certificazione e bonifica di macchine, attrezzature e ambienti di lavoro a basso rischio di esposizione a rumore e vibrazioni per i lavoratori' attivato e co-finanziato su Bando ricerche in collaborazione (BRIC) - Piano attività della ricerca discrezionale 2016-2018 di Inail. Il progetto è coordinato dal Dipartimento di Ingegneria meccanica e aerospaziale dell'Università di Roma La Sapienza e vede fra i partner il Dipartimento di Ingegneria industriale dell'Università di Firenze (DIEF), quest'ultimo incaricato dell'analisi di metodi e tecniche di studio e progettazione acustica degli ambienti di lavoro industriali e non della stesura del presente manuale.

Stefano Signorini
*Direttore del Dipartimento di medicina,
epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale*

INDICE

1	Introduzione	7
2	L'approccio al progetto acustico	12
3	Classificazione degli ambienti di lavoro - Indicatori di riferimento e valori obiettivo	14
3.1	Classificazione delle categorie di ambienti di lavoro	14
3.2	Descrittori acustici in riferimento alle categorie di ambiente	15
3.2.1	Ambienti di lavoro di tipo industriale	17
3.2.2	Ambienti ad uso scolastico	21
3.2.3	Ambienti ad uso sanitario ed ospedaliero	26
3.2.4	Ambienti ad uso ufficio	30
3.2.5	Mense e ristoranti	36
3.2.6	Attività commerciali	40
3.2.7	Ambienti per l'intrattenimento	43
3.2.8	Ambienti lavorativi soggetti ad elevate pressioni sonore	45
3.3	Bibliografia e riferimenti normativi	47
3.3.1	Normativa Nazionale ed europea	47
3.3.2	Manuali, linee guida e pubblicazioni	47
3.3.3	Normativa tecnica	48
4	Gli impianti di estrazione, condizionamento e trattamento aria	50
4.1	Gli impianti idraulici	51
4.2	Ventilatori	53
4.3	Canali di distribuzione dell'aria	59
4.3.1	Attenuazione sonora degli elementi dei condotti - tratti rettilinei e curve	60
4.3.2	Attenuazione sonora degli elementi dei condotti - silenziatori	64
4.3.3	Attenuazione sonora degli elementi dei condotti - terminali	68
4.3.4	Rumore rigenerato all'interno dei condotti	69
4.3.5	Esempio di stima previsionale del rumore di un condotto d'aria	74
4.4	Accorgimenti tecnologici	76
4.5	Bibliografia e riferimenti normativi	81
4.5.1	Manuali e linee guida	81
4.5.2	Pubblicazioni	81
4.5.3	Normativa Tecnica	81

5	Procedura di analisi e metodi per la progettazione/bonifica acustica degli ambienti di lavoro	83
5.1	Procedura di analisi e progettazione su edifici esistenti	83
5.1.1	Ambienti di lavoro di tipo industriale	84
5.1.2	Ambienti ad uso scolastico, sanitario ed ospedaliero	87
5.1.3	Ambienti ad uso ufficio	89
5.1.4	Mense, ristoranti, attività commerciali	92
5.1.5	Ambienti per l'intrattenimento	94
5.1.6	Contesti lavorativi soggetti a elevate pressioni sonore	96
5.2	Procedure di analisi e progettazione su edifici di nuova realizzazione	98
5.2.1	Ambienti di lavoro di tipo industriale	98
5.2.2	Ambienti ad uso scolastico, sanitario ed ospedaliero	100
5.2.3	Ambienti ad uso ufficio	102
5.2.4	Mense, ristoranti, attività commerciali	104
5.2.5	Ambienti per l'intrattenimento	106
5.2.6	Contesti lavorativi soggetti ad elevate pressioni sonore	107
6	Presentazione schede casi studio	109
	Allegati - Schede casi studio	113

1 INTRODUZIONE

Il Manuale contiene indicazioni metodologiche e pratiche per l'analisi e la progettazione acustica degli ambienti di lavoro, con particolare attenzione agli ambienti di tipologia complessa, quali ad esempio gli ambienti di grandi dimensioni. Le procedure di analisi e progettazione acustica sono state definite in riferimento sia a edifici di nuova realizzazione che a edifici esistenti. In senso generale, come evidenziato dalle diverse procedure sviluppate, risulta necessario che il progettista acustico sia impegnato fin dalle prime fasi del concept di progetto, nel caso di edifici di nuova realizzazione, o di indagine conoscitiva dello specifico ambiente di lavoro, nel caso di contesti esistenti. Risulta altresì fondamentale reperire tutte le informazioni necessarie al fine di affrontare e risolvere in modo mirato e completo le problematiche acustiche dello specifico ambiente di lavoro.

Il progetto acustico è rappresentato da un insieme di scelte che interagiscono e considerano necessariamente gli altri aspetti del comfort dell'ambiente: termico, antincendio, sicurezza, piacevolezza dello spazio, fruizione e, più in generale, tutti gli altri aspetti che rientrano nel quadro esigenziale/prestazionale.

Nel manuale vengono affrontate le problematiche procedurali e progettuali in funzione di ciascuna delle tipologie di ambienti di lavoro individuate, nel caso di edifici esistenti e di nuova costruzione, e fornite indicazioni in merito ai principali descrittori acustici da scegliere al fine di svolgere un'accurata analisi acustica dell'ambiente di lavoro, con particolare attenzione agli ambienti aventi caratteristiche acustiche particolarmente complesse quali, ad esempio, gli spazi bassi e vasti, tipici della gran parte degli impianti produttivi, o più in generale spazi con caratteristiche di campo sonoro non diffuso dove non sono applicabili le teorie di Sabine.

Il manuale vuol rappresentare uno strumento di facile consultazione e pertanto gli argomenti sono stati organizzati in larga parte mediante l'ausilio di tabelle ed elenchi al fine di rendere la consultazione più rapida e comprensibile. I contenuti sono stati sostanzialmente suddivisi in tre parti:

la prima parte descrittiva richiama un elenco ragionato delle principali normative vigenti utili per l'analisi e il progetto acustico e introduce le categorie di ambiente di lavoro ritenute significative e rappresentative degli attuali contesti di lavoro;

la seconda parte contiene le procedure di analisi e progettazione acustica suddivise sulla base delle diverse categorie di ambiente, distinte tra contesti esistenti e di nuova costruzione, e collegate a tabelle contenenti i descrittori acustici più opportuni da utilizzare in ordine di importanza;

la terza e ultima parte del Manuale raccoglie le schede descrittive di cinque casi studio di ambienti di lavoro di diversa tipologia, ritenuti significativi al fine di illustrare l'applicazione delle suddette procedure di analisi e progettazione acustica a casi reali.

Il manuale si rivolge principalmente ai consulenti acustici, ai progettisti, agli impiantisti,

e, più in generale, ai soggetti coinvolti nei processi produttivi degli specifici settori di lavoro che rivestono ruoli di responsabilità nei confronti del rischio rumore, della sua valutazione e della sua bonifica. Gli argomenti trattati nel Manuale risultano inoltre di interesse anche per i responsabili della prevenzione, per i produttori di macchine, i Rappresentati dei Lavoratori per la Sicurezza, i Medici Competenti e gli addetti che operano negli Organi di Vigilanza e controllo, al fine di perseguire l'obiettivo del miglioramento continuo dello specifico luogo di lavoro nell'interesse dei lavoratori, dell'azienda e del Sistema Sanitario Nazionale.

LO STATO DELL'ARTE

Allo stato attuale sono oramai consolidati gli adempimenti legislativi del Datore di Lavoro nei confronti dei Lavoratori al fine di redigere la valutazione dei rischi fisici e in particolare la valutazione del rischio rumore. Nello specifico, si sottolinea la stretta connessione tra il Titolo I del d.lgs. 81/2008 (indicazioni generali sulla sicurezza nei luoghi di lavoro) e il Titolo VIII, Capo II (indicazioni specifiche sulla valutazione del rischio rumore) e Capo III (indicazioni specifiche sulla valutazione del rischio da vibrazioni). È proprio dalla lettura di questi provvedimenti che si coglie il senso della valutazione del rischio come strumento al servizio del Datore di Lavoro, utile per il contenimento e la gestione del rischio mediante l'adozione di azioni identificate in misure tecniche, organizzative e procedurali. Ciò che invece ancora oggi è di difficile applicazione è l'impiego della valutazione del rischio non solo come documento per il rispetto dei vincoli legislativi, ma come strumento per progettare il luogo di lavoro senza dover intervenire, come spesso accade, a fronte di evidenti e importanti problematiche di discomfort. In particolare, spesso accade che, la riduzione dell'esposizione al rumore avvenga mediante l'adozione di DPI, perché di facile e veloce applicazione, invece che, nello spirito del d.lgs. 81/2008, porre l'attenzione al beneficio che si potrebbe ottenere su di un gruppo di lavoratori adottando misure di prevenzione collettiva, quali azioni correttive sul rumore prodotto dalle macchine e sugli effetti della riverberazione dell'ambiente. Il d.lgs. 81/2008 introduce la responsabilità del datore di lavoro che ha l'obbligo di perseguire l'obiettivo, di riduzione del rumore mediante accorgimenti procedurali e/o tecnici, sia alle macchine sia all'ambiente interno.

In parallelo al d.lgs. 81/2008 si trovano numerose norme tecniche che permettono, sia al progettista che al datore di lavoro, di orientare l'analisi acustica dello specifico luogo di lavoro al fine di adottare strategie aziendali efficaci per il miglioramento acustico. Tra le più importanti si può citare la norma UNI 11347:2015, dal titolo 'Programmi aziendali di riduzione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro' (P.A.R.E), che tratta gli aspetti procedurali e gestionali per la stesura di programmi denominati P.A.R.E. mirati alla riduzione del rumore degli ambienti di lavoro. La norma si configura come una sorta di linea guida che il datore di lavoro può seguire al fine di definire un programma di interventi di mitigazione acustica basato sull'individuazione delle aree di lavoro a maggior rischio e sull'analisi costi/benefici degli interventi proposti. Il P.A.R.E. diviene per-

tanto uno strumento che raccoglie tutte le informazioni che caratterizzano lo scenario acustico attuale di un determinato contesto dove vengono studiati e ipotizzati possibili scenari futuri per il miglioramento acustico dell'ambiente.

Tra gli aspetti citati in questa norma si sottolinea l'approccio dell'indagine acustica mediante l'utilizzo della 'mappatura acustica' come strumento di supporto utile al datore di lavoro per individuare tutte quelle aree maggiormente critiche dal punto di vista acustico. Le mappature possono essere eseguite sia nel piano orizzontale, a un'altezza significativa (tipicamente all'altezza dell'orecchio dei lavoratori), sia nel piano verticale, in una determinata posizione, per valutare la distribuzione del rumore nella sezione considerata. Oltre che per mezzo di una mappa a colori, la distribuzione del rumore nell'ambiente può essere visualizzata tramite curve di isolivello, ossia tramite curve che raccordano tutti i punti con lo stesso livello di pressione sonora. La Mappatura Acustica permette di ottenere una visione globale della distribuzione dell'energia sonora nello spazio e, laddove siano potenzialmente superati gli 80 dB(A), evidenziando anche le aree dove l'esposizione è superiore agli 85 dB(A) e le potenziali interferenze dovute alle sorgenti e alla loro posizione nell'ambiente oggetto di valutazione.

La mappatura acustica viene costruita mediante misure fonometriche distribuite su di un reticolo più o meno fitto a seconda della distanza dalla specifica sorgente o dalla complessità in termini di struttura geometrica dell'ambiente e/o emissione sonora. Il secondo aspetto da tenere in considerazione riguarda la stazionarietà o meno dell'emissione acustica delle sorgenti sonore che determina la scelta di tempi di misura più o meno lunghi al fine di descrivere significativamente il rumore di quella specifica sorgente o area di emissione.

Un ulteriore indirizzo introdotto dalla norma UNI 11347:2015 è quello di non considerare i DPI uditivi come interventi che possono rientrare tra quelli contenuti nel P.A.R.E., le soluzioni possibili da inserire nel P.A.R.E. sono mirate alla riduzione delle emissioni rumore delle macchine e alla riduzione del rumore mediante interventi acustici ambientali.

Per quanto riguarda le norme principali per lo studio acustico degli ambienti in termini di comfort interno si dà evidenza alla norma UNI 14257:2004 'Misurazione e descrizione parametrica delle curve di decadimento del suono nello spazio degli ambienti di lavoro per la valutazione delle loro prestazioni acustiche' e alla norma UNI EN ISO 3382, 'Misurazione dei parametri acustici degli ambienti' parte 2:2008 e parte 3:2012. In particolare, la norma UNI EN ISO 14257:2004 descrive la procedura di misura per la definizione di parametri quali 'DL₂' (decadimento del suono al raddoppio della distanza) e 'DL' (eccesso di livello sonoro rispetto al campo libero) utilizzati per lo studio della propagazione del rumore in ambienti interni con caratteristiche di campo sonoro non diffuso. Questi parametri diventano di fondamentale importanza per studiare la distribuzione dell'energia sonora lungo direttrici ritenute significative in ambienti di dimensioni rilevanti e in condizioni di campo non diffuso, dove non è applicabile la teoria di Sabine. La norma UNI EN ISO 3382 fornisce invece la procedura per la misurazione del 'TR' (tempo di riverberazione) utilizzabile per la descrizione di ambienti 'sabiniani'. Nei capi-

toli successivi sono riportati approfondimenti per individuare, a seconda della tipologia di ambiente oggetto di indagine, definito sia in termini spaziali che tipologici, la procedura più opportuna da utilizzare per la sua caratterizzazione.

In merito alla progettazione acustica degli ambienti di lavoro in ambito industriale si identificano le tre parti della norma della serie UNI EN ISO 11690:2021 'Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario'. Nello specifico tali norme forniscono indicazioni e soluzioni tecniche per la riduzione del rumore interno e la scelta del parametro acustico più idoneo al fine di ottenere un ambiente di lavoro a bassa rumorosità.

Nel caso di contesti di lavoro dove un ambiente deve essere isolato acusticamente (ad esempio nel caso di stabilimenti industriali con compartimentazioni di specifiche lavorazioni o negli uffici/call-center dove si vogliono creare piccoli ambienti isolati acusticamente), si sottolineano le norme della serie UNI EN 12354 relative alla valutazione delle prestazioni acustiche di elementi divisorii tra distinti locali che contengono specifici algoritmi di calcolo per la stima delle prestazioni acustiche di partizioni verticali e orizzontali tra ambienti interni e verso l'ambiente esterno.

Al fine di perseguire gli obiettivi di riduzione del rumore degli ambienti è di fondamentale importanza la conoscenza delle emissioni rumorose delle macchine presenti nel contesto di lavoro. A tal proposito, in mancanza di informazioni sufficientemente dettagliate, è possibile caratterizzare le sorgenti acustiche mediante misure fonometriche o intensimetriche in opera e quindi identificare la rumorosità della macchina nella specifica lavorazione. Le norme tecniche che definiscono le procedure di misura e calcolo per la determinazione del livello di potenza sonora e della direttività della sorgente acustica in esame sono le norme tecniche UNI EN ISO 3744:2010, UNI EN ISO 3746:2009 e UNI EN ISO 3747:2009, 'Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante misurazione della pressione sonora' e la norma tecnica della serie UNI EN ISO 9614 'Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensimetrico. La scelta di utilizzare una norma piuttosto che un'altra dipende dalle caratteristiche tipologiche della specifica sorgente e dal contesto in cui è inserita.

La conoscenza dettagliata delle sorgenti acustiche in gioco permette di adottare opportune scelte progettuali al fine di ipotizzare in modo efficiente interventi di mitigazione acustica direttamente alla sorgente specifica o lungo il cammino di propagazione.

In ultima analisi vale la pena citare le norme tecniche UNI 9432:2011 e UNI EN ISO 9612:2011 inerenti alle procedure per la determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro. Queste norme permettono di definire il livello di rumore in prossimità dell'orecchio dell'operatore in modo da confrontare il risultato con i limiti e valori di azione imposti dal d.lgs. 81/2008.

Nella manualistica di settore si sottolinea, infine, la particolare importanza delle Linee Guida Inail 'Metodologia e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro - Edizione 2013' che forniscono indicazioni puntuali per la riduzione del rumore nei luoghi di lavoro in riferimento ad alcune tipologie di ambienti e le 'Linee Guida

per una corretta progettazione acustica di ambienti scolastici' a cura dell'Associazione Italiana di Acustica, in cui si evidenziano gli aspetti della progettazione acustica che sono di fondamentale importanza per il corretto svolgimento delle attività di insegnamento e apprendimento che si svolgono all'interno degli edifici scolastici.

Nel presente manuale vengono analizzate le procedure per l'analisi e la progettazione acustica dei luoghi di lavoro ampliando e dettagliando le categorie degli ambienti già trattate nelle citate Linee Guida.

2 L'APPROCCIO AL PROGETTO ACUSTICO

Nell'affrontare la progettazione architettonica e nell'ingegnerizzare il processo costruttivo di un edificio è di fondamentale importanza seguire un approccio metodologico che, mediante step progressivi e controlli sistematici, permetta, sulla base delle esigenze della committenza, di individuare gli obiettivi e successivamente definire i requisiti che l'opera deve garantire. Dopo avere fissato i punti fondamentali, si potrà procedere alla definizione dell'idea progettuale che dovrà poi essere dettagliata per la sua ingegnerizzazione. Il processo progettuale può essere scomposto in sotto-fasi da sviluppare in parallelo o in serie, i cui contenuti sono definiti a priori sulla base del quadro esigenziale/prestazionale. Ogni sotto-fase sarà strutturata per concretizzare uno specifico obiettivo, ad esempio lo studio funzionale di uno spazio o lo sviluppo di un dettaglio tecnologico. Pertanto, il controllo del processo edificatorio, in riferimento ai vari livelli progettuali, avviene mediante azioni di feedback eseguite a conclusione di ogni sotto-fase allo scopo di valutarne l'effettiva efficacia sulla base degli obiettivi e dei requisiti individuati. In accordo all'art. 23 del d.lgs. 50/2016 il processo progettuale si compone di tre principali livelli: progetto di fattibilità tecnica ed economica, progetto definitivo e progetto esecutivo; ciò allo scopo di assicurare:

- il soddisfacimento dei fabbisogni della collettività;
- la qualità architettonica, tecnico funzionale e di relazione nel contesto dell'opera;
- la conformità alle norme ambientali, urbanistiche e di tutela dei beni culturali e paesaggistici, nonché il rispetto di quanto previsto dalla normativa in materia di tutela della salute e della sicurezza;
- un limitato consumo del suolo;
- il rispetto dei vincoli idro-geologici, sismici e forestali nonché degli altri vincoli esistenti;
- il risparmio, l'efficientamento ed il recupero energetico nella realizzazione e nella successiva vita dell'opera, nonché la valutazione del ciclo di vita e della manutenibilità delle opere;
- la compatibilità con le preesistenze archeologiche;
- la razionalizzazione delle attività di progettazione e delle connesse verifiche attraverso il progressivo uso di metodi e strumenti elettronici specifici quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture;
- la compatibilità geologica, geomorfologica, idrogeologica dell'opera;
- accessibilità e adattabilità secondo quanto previsto dalle disposizioni vigenti in materia di barriere architettoniche.

Spesso accade che il processo progettuale sia visto come un insieme di materie slegate tra loro, dove i diversi professionisti esperti dello specifico settore contribuiscono allo sviluppo del progetto avendo come unico obiettivo il rispetto dei requisiti del proprio

settore e tralasciando le naturali interferenze tra i diversi aspetti della progettazione. Studiare la singola problematica senza prestare attenzione alle ripercussioni che questa avrà sugli altri aspetti ambientali può risultare controproducente, se non dannosa. Prima di progettare ex-novo o ristrutturare un luogo adibito allo svolgimento di attività umane occorre avere ben chiaro quali sono gli obiettivi da perseguire e i requisiti minimi che tale ambiente deve garantire, contestualmente all'aver fissato tutti i vincoli e le problematiche che interessano lo specifico contesto. Questa analisi, se svolta in modo approfondito, permette di individuare in dettaglio tutti gli ambiti che interesseranno la progettazione dello specifico ambiente. Viceversa, se la fase di analisi iniziale viene svolta in modo approssimativo, con l'evolversi del livello di dettaglio della progettazione, possono emergere problematiche di difficile o onerosa soluzione in corso d'opera. Questo tipo di approccio può comportare la modifica di elementi di progetto già definiti oppure, nei casi più estremi, varianti importanti in corso d'opera con aggravio di costi e tempi. In generale, è proprio l'assenza di varianti in corso d'opera per problematiche non pensate o mal gestite in fase progettuale l'indicatore che definisce la buona riuscita di un progetto.

Tutti gli ambiti che interessano la progettazione dell'opera devono essere inquadrati in modo dettagliato sia dal punto di vista esigenziale/prestazionale, sia nell'interfaccia tra le varie materie che interessano lo specifico processo. A titolo di esempio, nell'analizzare il quadro esigenziale legato al comfort acustico di uno specifico ambiente di lavoro, può risultare necessario porre l'attenzione anche agli aspetti del comfort illuminotecnico e/o dell'antincendio, in quanto con ogni probabilità direttamente interconnessi. Pertanto, è di fondamentale importanza gestire il progetto come un insieme di sistemi direttamente connessi e non come un elenco separato di materie e ambiti progettuali separati. Una interferenza tipicamente ricorrente può verificarsi nei casi di applicazione di sistemi fono-assorbenti (e/o fonoisolanti) in ambienti industriali dove le normative sull'antincendio sono particolarmente stringenti. In questi casi è importante che i materiali scelti non interferiscano con i requisiti dell'antincendio sia dal punto di vista della classe di reazione al fuoco dei materiali proposti che, soprattutto nel caso di applicazione di sistemi a soffitto, che della sua geometria.

La progettazione integrata per il miglioramento di una specifica problematica può così diventare l'occasione per sviluppare un contesto architettonicamente organico in cui tutti gli aspetti del quadro esigenziale/prestazionale saranno integrati tra loro e coerenti con il linguaggio architettonico dell'edificio (si veda pubblicazioni [17] [18]).

3 CLASSIFICAZIONE DEGLI AMBIENTI DI LAVORO INDICATORI DI RIFERIMENTO E VALORI OBIETTIVO

3.1 CLASSIFICAZIONE DELLE CATEGORIE DI AMBIENTI DI LAVORO

A partire dall'analisi dello stato dell'arte, in particolare le Linee Guida Inail 'Metodologia e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro - Edizione 2013' e le Linee Guida AIA sugli ambienti scolastici, è stato costruito un elenco contenente le principali categorie di ambienti di lavoro. La suddivisione delle attività di lavoro per categorie di ambienti ha permesso di definire in modo mirato la giusta procedura di analisi e progettazione acustica dello specifico luogo di lavoro. Di seguito si elencano le categorie di ambienti oggetto di studio.

1. Ambienti industriali
2. Ambienti scolastici
3. Ambienti ad uso sanitario ed ospedaliero
4. Ambienti ad uso ufficio
5. Mense e ristoranti
6. Attività commerciali
7. Ambienti per l'intrattenimento
8. Contesti lavorativi estremi soggetti ad elevati pressioni sonore

Il recente sviluppo delle attività di lavoro ha portato a realizzare spazi sempre più flessibili, tali da garantire la possibilità di modificare in tempi rapidi il layout produttivo/distributivo sulla base delle effettive necessità del lavoro da svolgere. Questo aspetto è ancor più determinante negli spazi di tipo open-space dove l'ambiente di lavoro è suddiviso in aree operative ognuna delle quali assolve a specifici compiti. L'analisi acustica di questi ambienti diviene di particolare complessità in quanto alcune aree operative possono risultare molto rumorose, con la conseguenza di favorire la propagazione sonora in tutto lo spazio interno adiacente, comprese le aree più silenziose. In questi casi, effettuare interventi per la riduzione del rumore significa spesso riprogettare il layout distributivo, tenendo conto sia delle esigenze funzionali/produktive sia degli aspetti acustici.

Nel caso di grandi stabilimenti produttivi, ad esempio, il layout che prevede un ambiente unico privo di separazioni è particolarmente vantaggioso in quanto lo scambio di materiali e informazioni tra le varie sotto-aree avviene rapidamente e senza difficoltà. Inoltre, ogni area operativa può modificare velocemente il proprio layout operativo, oppure si possono accorpate più aree al fine di realizzarne una nuova avente diversi macchinari e/o lavorazioni.

Tale flessibilità operativa deve essere opportunamente studiata al fine di poter formulare opportune strategie d'intervento acustico per ogni scenario individuato. Nello spe-

cifico, può accadere che il contesto di lavoro sia del tipo multi-sorgente, ovvero le macchine e gli impianti sono distribuiti in modo pressoché uniforme nello spazio e le caratteristiche acustiche in termini di emissione sonora sono simili tra loro, oppure, si può verificare che alcune macchine emettano rumore in modo preponderante rispetto ad altre, oppure, che le sorgenti principali di rumore siano concentrate in una specifica area. Si può facilmente comprendere come, al variare di queste condizioni, lo scenario acustico interno cambi completamente: nel caso del contesto multi-sorgente equamente distribuito si avrà un'ambiente con una distribuzione uniforme dell'energia sonora, nel caso di sorgenti concentrate in una specifica area il rumore sarà particolarmente concentrato nella suddetta area e si propagherà verso altre aree in funzione della riverberazione interna. Conseguentemente, l'intervento acustico più opportuno per la riduzione del rumore sarà dipendente dalle caratteristiche acustiche dall'ambiente, dal layout distributivo e dalle caratteristiche acustiche delle sorgenti nelle varie configurazioni di funzionamento.

Nei contesti di lavoro differenti dagli stabilimenti industriali di grandi dimensioni, l'approccio per la riduzione del rumore è finalizzato al miglioramento del comfort acustico, piuttosto che all'adempimento delle prescrizioni imposte dal d.lgs. 81/2008. Nello specifico, la citata legge affronta gli aspetti del rumore nei luoghi di lavoro allo scopo di proteggere gli operatori dal punto di vista della salute, mentre, non sono affrontati gli aspetti inerenti il comfort acustico che, nel caso di alcune attività che richiedono particolare attenzione, possono generare cali di concentrazione tali da ridurre la produttività anche in modo rilevante. Nel caso degli uffici open-space, ad esempio, già in fase di progettazione del layout distributivo, diviene essenziale prevedere delle aree confinate per lo svolgimento di attività silenziose che richiedono concentrazione, oppure, per lo svolgimento di attività rumorose quali riunioni o conversazioni telefoniche di lunga durata. Negli ambienti scolastici, infine, soprattutto quelli edificati nei primi anni del dopoguerra che attualmente costituiscono il grosso del patrimonio edilizio scolastico italiano, la qualità acustica delle aule è spesso non adeguata, con conseguenze importanti sulla salute degli insegnanti e sul livello di attenzione e comprensione degli allievi. Questo esempio è un ulteriore caso non trattato ai fini dell'acustica dei luoghi di lavoro del d.lgs. 81/2008 nel quale la valutazione del rischio rumore viene svolta in analogia agli ambienti industriali.

Ciò posto, gli argomenti esposti nel proseguo, riguardanti le procedure di analisi e progettazione acustica degli ambienti di lavoro e i relativi descrittori acustici associati, in riferimento alla specifica categoria di ambiente, mirano ad analizzare i luoghi di lavoro non solo per contenere il rumore al di sotto delle soglie di azione previsti dal d.lgs. 81/2008, ma anche al fine di incrementare la qualità acustica e quindi abitativa dello specifico luogo di lavoro.

3.2 DESCRITTORI ACUSTICI IN RIFERIMENTO ALLE CATEGORIE DI AMBIENTE

Nel presente paragrafo vengono illustrati i descrittori acustici ritenuti più appropriati

al fine di svolgere l'analisi e la progettazione acustica per ciascuna delle diverse categorie di ambiente, sia nel caso di edifici esistenti che di nuova realizzazione. Le otto categorie principali di ambienti di lavoro individuate sono le seguenti:

1. Ambienti industriali.
2. Ambienti scolastici.
3. Ambienti ad uso sanitario ed ospedaliero.
4. Ambienti ad uso ufficio.
5. Mense e ristoranti.
6. Attività commerciali.
7. Ambienti per l'intrattenimento.
8. Contesti lavorativi estremi soggetti ad elevati pressioni sonore.

Per ogni categoria/sottocategoria di ambiente è stata costruita una tabella che contiene le principali peculiarità dell'ambiente di lavoro, i descrittori acustici da utilizzare e i relativi valori obiettivo di riferimento da considerare per l'analisi acustica dell'ambiente di lavoro.

Tabella 1 Descrizione dei contenuti delle colonne della tabella per la scelta dei descrittori più opportuni per lo studio e l'analisi acustica dello specifico ambiente di lavoro						
1	Categoria di riferimento					
Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità degli ambienti	Obiettivo acustico	Descrittore acustico principale	Valore di riferimento	Livello di importanza dei descrittori
Codice progressivo della specifica sottocategoria (1.1; 1.2; [1.n])	Parametro significativo che caratterizza la specifica sottocategoria di ambiente di lavoro	Caratteristiche geometriche ed acustiche della specifica sottocategoria di ambiente di lavoro	Principali obiettivi acustici da perseguire al fine di ridurre la rumorosità	Individuazione del o dei descrittori acustici da utilizzare.	Valori obiettivo dello specifico descrittore acustico e richiamo della norma di riferimento	Livello di importanza del descrittore in riferimento allo studio acustico dell'ambiente

A seconda degli obiettivi previsti nello specifico lavoro è possibile utilizzare uno o più dei descrittori acustici indicati. Per meglio individuare il descrittore più appropriato, sono stati indicati i livelli di importanza per ogni singolo descrittore in funzione della specifica categoria di ambiente. Nella tabella che segue si riporta la legenda dei simboli adottati corrispondente alla sua importanza.

Tabella 2

Legenda, ordine di importanza dei descrittori

Simbolo	Descrizione
•••	Descrittore necessario al fine di poter analizzare il comportamento acustico dell'ambiente e/o delle sorgenti di rumore interessate nello studio
••	Descrittore necessario solo nei casi studio più complessi
•	Descrittori di interesse per la valutazione del comfort degli ambienti

3.2.1 Ambienti di lavoro di tipo industriale

La categoria degli ambienti industriali è stata suddivisa in due distinte sotto-categorie, in funzione delle proprietà acustiche dell'ambiente oggetto di valutazione. In particolare, si sono individuati ambienti con caratteristiche acustiche di campo diffuso, ovvero ambienti di lavoro di piccole e medie dimensioni (volume massimo dell'ambiente pari a 10.000 m³) e ambienti con caratteristiche di campo non diffuso, ovvero ambienti di lavoro di grandi dimensioni (volume oltre i 10.000 m³), spazi vasti e bassi e/o con forte disomogeneità materica in termini di assorbimento acustico delle finiture e degli arredi.

Ai fini dello studio dell'ambiente nei casi di contesti con caratteristiche di campo diffuso è sufficiente acquisire informazioni in merito al tempo di riverberazione, mentre, per quanto riguarda ambienti aventi caratteristiche di campo non diffuso, diviene fondamentale conoscere la propagazione del rumore lungo specifiche direttrici scelte in funzione degli specifici obiettivi da perseguire. I descrittori fondamentali per tale studio sono il DL₂ ed il DL_r.

Per lo studio degli scenari di lavoro e per la definizione dei livelli di rumore interni è stato inserito il descrittore L_{Aeq} allo scopo di svolgere misure fonometriche per acquisire dati in merito al livello del rumore di fondo, al livello di rumore prodotto dagli impianti attivi (condizionamento, trattamento aria e/o sistemi di aspirazione polveri) e al livello di rumore presente nello stabilimento durante le operazioni della produzione. Queste misure potranno essere utilizzate come base conoscitiva per la formulazione delle strategie di intervento finalizzate alla riduzione della rumorosità delle attività produttive e degli impianti tecnici a servizio dell'attività. In alcuni contesti, infatti, il rumore prodotto dagli impianti tecnici risulta essere preponderante rispetto al rumore prodotto dalle attività produttive.

La tabella che segue riporta in forma sintetica i descrittori acustici più opportuni da utilizzare in riferimento alle due sotto-categorie di ambienti industriali individuate, nonché l'ordine di importanza ed il valore di riferimento di ogni singolo descrittore.

Segue Tabella 3

Ambienti industriali

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità degli ambienti	Obiettivo acustico	Descrittore acustico principale	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
			Segregazione parziale o totale di sorgenti rumorose.	<p>Valore ponderato dell'acclerazione</p> <p>a_w (m/s^2) su tre assi</p> <p>V_{sor} (mm/s^2) su tre assi</p>	<p>Valore limite di esposizione giornaliero</p> <p>$A(8) = 5 \text{ m/s}^2$ (mano-braccio)</p> <p>$A(8) = 1 \text{ m/s}^2$ (corpo-interno)</p> <p>Valore di azione giornaliero</p> <p>$A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$ (mano-braccio)</p> <p>$A(8) = 0,5 \text{ m/s}^2$ (corpo-interno)</p> <p>Valori limite di esposizione su periodi brevi</p> <p>$a_w = 20 \text{ m/s}^2$ (mano-braccio, almeno 1 minuto)</p> <p>$a_w = 1,5 \text{ m/s}^2$ (corpo-interno, almeno 3 minuti) (d.lgs. 81/2008 e s.m.i.)</p> <p>$V_{sor} = 14 \text{ mm/s}^2$ su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)</p>	••

3.2.2 Ambienti ad uso scolastico

La categoria degli ambienti ad uso scolastico è stata suddivisa in due distinte sottocategorie, in riferimento alle proprietà acustiche dell'ambiente oggetto di valutazione. Benché il d.lgs. 81/2008 stabilisca dei valori di azione difficilmente superabili nella gran parte degli ambienti a destinazione scolastica, in questa sede si ritiene comunque importante analizzare il comfort acustico al fine di migliorare le condizioni di lavoro degli operatori presenti.

Per questa categoria di ambiente di lavoro si è tenuto conto anche dei requisiti acustici cogenti contenuti nel decreto 11 ottobre 2017 'Criteri ambientali minimi' (CAM) che interessano tutti gli edifici pubblici di nuova costruzione e oggetto di ristrutturazione. In particolare, i CAM prevedono il rispetto del livello di 'prestazione superiore' in riferimento al prospetto A.1 dell'appendice A della norma UNI 11367:2010. Devono essere altresì rispettati i valori relativi alla 'prestazione buona' nel prospetto B.1 dell'appendice B alla norma UNI 11367:2010. Gli ambienti interni devono essere idonei al raggiungimento dei valori indicati per i descrittori acustici riportati nella norma UNI 11532. I descrittori acustici da utilizzare sono quelli definiti nella UNI 11367:2010 per i requisiti acustici passivi delle unità immobiliari e il tempo di riverberazione e lo STI per l'acustica interna agli ambienti di cui alle norme UNI 11532 e UNI 11367:2010. Per quanto riguarda gli ambienti scolastici dedicati alla didattica e alla palestra si cita, inoltre, il d.m. del 18/12/1975 ancora in vigore.

Tabella 4

Ambienti scolastici

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità degli ambienti	Obiettivo acustico	Descrittore acustico principale	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
4.1	Aule didattiche	Gli ambienti sono accomunati da dimensioni geometriche simili (piccole-medie dimensioni) ed un'elevata densità di occupazione.	L'obiettivo acustico principale è la qualità della percezione del parlato e, nel contempo, il non affaticamento dell'oratore, unitamente ad un basso rumore di fondo, principalmente prodotto dal rumore degli impianti, dalle sorgenti esterne e dagli ambienti interni limitrofi.	Tempo di riverberazione (s)	Locale - 2.1) e 2.3) - In funzione del volume d.m. 18/12/75 - Formula C.1 UNI 11367:2010 - TR ≤ 0.6 s (scuole dell'infanzia e primaria) TR ≤ 0.8s scuola secondaria (OMS 2011 e BB93)	•••
4.2	Aule per bambini con deficit uditivi			Livello di rumore di fondo LAeq dB(A)	Locale - 2.2) - In funzione del volume d.m. 18/12/75 - Formula C.1 UNI 11367:2010 - TR ≤ 0.4 s (media aritmetica) - TR ≤ 0.6 s (per singola banda di ottava)	•••
				Speech Transmission Index	L _{Aeq} ≤ 30-40 dB(A) UNI EN ISO 11690-1:1998 L _{Aeq} ≤ 40 dB(A) – bambini sopra i 12 anni L _{Aeq} ≤ 28.5 dB(A) – bambini 6-7 anni Picard e Bradley, 2001	•••
					STI ≥ 0.6 UNI 11367	••

Segue Tabella 4

Ambienti scolastici

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità degli ambienti	Obiettivo acustico	Descrittore acustico principale	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
4.3	Laboratori			<p>Isolamento acustico delle partizioni interne $D_{nT,w}$ (dB)</p> <p>Livello di pressione sonora di calpestio $L'_{n,w}$ (dB)</p> <p>Isolamento acustico di facciata $D_{2m,nT}$ (dB)</p> <p>Valore ponderato dell'accelerazione V_{sor} (mm/s^2) su tre assi</p>	<p>$D_{nT,w} \geq 50$ dB (partizioni senza aperture) $D_{nT} \geq 30$ dB (partizioni con aperture) d.m. 11/10/17 (CAM)</p> <p>$L'_{n,w} \leq 53$ dB d.m. 11/10/17 (CAM)</p> <p>$D_{2m,nT,w} \geq 43$ dB d.m. 11/10/17 (CAM)</p> <p>$V_{sor} = 5,4$ mm/s^2 su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)</p>	<p>••</p> <p>••</p> <p>••</p> <p>•</p>
4.4	Aule di musica	<p>Si tratta di ambienti di dimensioni e densità di occupazione media, in cui vengono prodotti elevati livelli di rumorosità.</p> <p>L'obiettivo acustico principale è garantire una corretta riverberazione e diffusione del suono, la qualità acustica dell'ascolto reciproco tra gli esecutori e l'amalgama dei suoni prodotti tra i diversi strumenti musicali.</p>	<p>L'obiettivo acustico principale è garantire una corretta riverberazione e diffusione del suono, la qualità acustica dell'ascolto reciproco tra gli esecutori e l'amalgama dei suoni prodotti tra i diversi strumenti musicali.</p>	<p>Tempo di riverberazione (s) BB93 UK</p> <p>Livello di rumore di fondo L_{Aeq} dB(A) Linee guida AIA</p> <p>Livello di esposizione lavoratore L_{Ex} dB(A)</p> <p>Isolamento acustico delle partizioni interne R_w/D_{nT} (dB)</p>	<p>TR ≤ 1 s BB93 UK</p> <p>$L_{Aeq} \leq 35-40$ dB(A) Linee guida AIA</p> <p>$L_{Ex} \leq 80$ dB(A) d.lgs. 81/2008</p> <p>Valori limite di legge per aule partizioni interne $D_{nT,w} \geq 50$ dB (partizioni senza aperture)</p>	<p>•••</p> <p>•••</p> <p>•</p> <p>•••</p>

Segue Tabella 4

Ambienti scolastici

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità degli ambienti	Obiettivo acustico	Descrittore acustico principale	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
4.5	Aule insegnanti e sale riunioni	Si tratta di ambienti di piccole dimensioni utilizzati prevalentemente per la concentrazione e l'ascolto del parlato.	L'obiettivo acustico principale è il controllo della riverberazione e un basso rumore di fondo per favorire le attività che richiedono uno sforzo di concentrazione.	Valore ponderato dell'accele- razione V_{Sor} (mm/s ²) su tre assi	$D_{nT} \geq 30$ dB (partizioni con aperture) d.m. 11/10/17 (CAM)	
	Valori suggeriti per aule musicali				•••	
4.6	Uffici (amministrazione, direzione)			Valore ponderato dell'accele- razione V_{Sor} (mm/s ²) su tre assi	$D_{nT} \geq 56$ dB (partizioni senza aperture)	•••
	$D_{nT} \geq 40$ dB (partizioni con aperture) UNI 11367				•	
4.6				Tempo di riverberazione (s)	Formula C.1 UNI 11367	•••
					$L_{Aeq} \leq 30-40$ dB(A) UNI EN ISO 11690-1	••
				Valore ponderato dell'accele- razione V_{Sor} (mm/s ²) su tre assi	$V_{Sor} = 5.4$ mm/s ² su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)	•

Segue Tabella 4				Ambienti scolastici		
Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità degli ambienti	Obiettivo acustico	Descrittore acustico principale	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
4.7	Aula magna	Si tratta di ambienti di medio-grandi dimensioni utilizzati per molteplici scopi: sala conferenza, assemblee, ecc.	L'obiettivo acustico principale è il controllo della riverberazione e un basso rumore di fondo per favorire le attività che richiedono uno sforzo di concentrazione.	Tempo di riverberazione (s) Livello di rumore di fondo L_{Aeq} dB(A) Speech Transmission Index	Formula C.1 UNI 11367:2010 $L_{Aeq} \leq 30-35$ dB(A) UNI EN ISO 11690-1:2020 STI ≥ 0.6 UNI 11367:2010	••• •• •
4.8	Palestra	Si tratta di ambienti di grandi dimensioni e volumetrie importanti.	L'obiettivo acustico principale è il controllo della riverberazione.	Valore ponderato dell'accele- lerazione V_{sor} (mm/s^2) su tre assi Tempo di riverberazione (s) Livello di rumore di fondo L_{Aeq} dB(A)	Formula C.2 UNI 11367:2010 $V_{sor} = 5.4$ mm/s^2 su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9) Formula C.2 UNI 11367:2010 $L_{Aeq} \leq 40$ dB(A) BB93	••• •

3.2.3 Ambienti ad uso sanitario ed ospedaliero

La categoria degli ambienti ad uso sanitario ed ospedaliero è stata suddivisa in due distinte sotto-categorie, in riferimento alle proprietà acustiche dell'ambiente oggetto di valutazione.

Benché il d.lgs. 81/2008 stabilisca dei valori di azione difficilmente superabili nella gran parte degli ambienti a destinazione ospedaliera, in questa sede si ritiene comunque importante analizzare il comfort acustico al fine di migliorare le condizioni di lavoro degli operatori presenti in accordo alle specifiche mansioni svolte.

Le problematiche più ricorrenti negli ambienti ospedalieri riguardano il rumore prodotto dagli impianti e la trasmissione tra locali adiacenti, mentre gli aspetti della riverberazione divengono secondari.

Per questa categoria di ambiente di lavoro si è tenuto conto anche dei requisiti acustici cogenti contenuti nel decreto 11 ottobre 2017 'Criteri ambientali minimi' (CAM) che interessano tutti gli edifici pubblici di nuova costruzione e oggetto di ristrutturazione. In particolare, i CAM prevedono il rispetto del livello di 'prestazione superiore' in riferimento al prospetto A.1 dell'appendice A della norma UNI 11367:2010. Devono essere altresì rispettati i valori relativi alla 'prestazione buona' nel prospetto B.1 dell'appendice B alla norma UNI 11367:2010. Gli ambienti interni devono essere idonei al raggiungimento dei valori indicati per i descrittori acustici riportati nella norma UNI 11532. I descrittori acustici da utilizzare sono quelli definiti nella UNI 11367:2010 per i requisiti acustici passivi delle unità immobiliari e il tempo di riverberazione e lo STI per l'acustica interna agli ambienti di cui alle norme UNI 11532 e UNI 11367.

Tabella 5 Ambienti ad uso sanitario, ospedaliero e casa di cura, ambienti scolastici

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
5.1	Sale operatorie	Si tratta di ambienti di piccole/medie dimensioni, caratterizzati da superfici lisce e regolari. Le superfici e gli arredi devono soddisfare requisiti igienico-sanitari molto spinti.	L'obiettivo acustico è un livello di rumore di fondo molto basso ed un elevato isolamento acustico delle partizioni interne.	Livello di rumore di fondo L_{req} dB(A) Isolamento acustico delle partizioni interne R_w/D_{IT} (dB)	$L_{\text{req}} \leq 35$ dB(A) Linee guida Inail $D_{\text{n,TW}} \geq 50$ dB d.m. 11/10/17	•• •••
5.2	Ambulatori	Si tratta di ambienti di piccole dimensioni con bassa densità di occupazione.	L'obiettivo acustico è un livello di rumore di fondo basso ed un adeguato isolamento acustico delle partizioni interne per favorire condizioni di privacy.	Valore ponderato dell'accele- lerazione V_{SOR} (mm/s^2) su tre assi Livello di rumore di fondo L_{req} dB(A)	$V_{\text{SOR}} = 2$ mm/s^2 su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9) $L_{\text{req}} \leq 40$ dB(A) Linee guida Inail	• •••
5.3	Studi medici			Isolamento acustico delle partizioni interne R_w/D_{IT} (dB)	$D_{\text{n,TW}} \geq 50$ dB d.m. 11/10/17	••
5.4	Day hospital			Livello di pressione sonora di calpestio $L'_{\text{n,w}}$ (dB) $D_{\text{min,TW}}$ (dB)	$L'_{\text{n,w}} \leq 53$ dB d.m. 11/10/17 43 dB d.m. 11/10/17	•• ••
				Valore ponderato dell'accele- lerazione V_{SOR} (mm/s^2) su tre assi	$V_{50} = 2$ mm/s^2 su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)	•

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
5.5	Laboratori	Si tratta di ambienti di piccole/medie dimensioni con bassa densità di persone e impianti tecnici e macchine potenzialmente anche molto rumorosi.	L'obiettivo acustico è contenere al massimo il livello di rumore prodotto dalle macchine e dagli impianti presenti e una riverberazione contenuta.	Livello di rumore di fondo L_{Aeq} dB(A) Tempo di riverberazione (s)	$L_{Aeq} \leq 35-45$ dB(A) UNI EN ISO 11690-1:2021 $TR \leq 0.5$ ($V \leq 200$ m ³) $TR \leq 0.05$ ($V \leq 0,5$ (100s/ $V \leq 2500$ m ³) $TR = 2.5$ s $V > 2500$ m ³ UNI EN ISO 11690-1:2020	••• ••
5.6	Sale gessi	Si tratta di ambienti di piccole dimensioni con bassa densità di persone e presenza di attività anche molto rumorose (es. taglio del gesso).	L'obiettivo è un tempo di riverberazione molto basso ed un elevato isolamento acustico delle partizioni interne al fine di non determinare condizioni di disturbo per gli ambienti limitrofi.	Valore ponderato dell'acclerazione V_{sor} (mm/s ²) su tre assi Tempo di riverberazione (s)	$V_{sor} = 2$ mm/s ² su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9) $TR \leq 0.5$ ($V \leq 200$ m ³) $TR \leq 0.05$ ($V \leq 0,5$ (100s/ $V \leq 2500$ m ³) $TR = 2.5$ s $V > 2500$ m ³ UNI EN ISO 11690-1:2020	•• •••
5.7	Uffici con sportelli al pubblico e sale di attesa	Si tratta di ambienti di dimensione media con densità di occupazione media.	L'obiettivo è un tempo di riverberazione molto basso.	Isolamento acustico delle partizioni interne R_w/D_{nT} (dB) Valore ponderato dell'acclerazione V_{sor} (mm/s ²) su tre assi Tempo di riverberazione (s)	$D_{nT,w} \geq 50$ dB d.m. 11/10/17 $V_{sor} = 2$ mm/s ² su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9) $TR \leq 0.5$ ($V \leq 200$ m ³) $TR \leq 0.05$ ($V \leq 0,5$ (100s/ $V \leq 2500$ m ³) $TR = 2.5$ s $V > 2500$ m ³ UNI EN ISO 11690-1:2020	••• • •••

Segue Tabella 5 **Ambienti ad uso sanitario, ospedaliero e casa di cura, ambienti scolastici**

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
5.8	Sale comuni			<p>Livello di rumore di fondo L_{Aeq} dB(A)</p> <p>Valore ponderato dell'accelerazione V_{SOR} (mm/s^2) su tre assi</p>	<p>Formula C.1 UNI 11367:2010</p> <p>$L_{Aeq} \leq 40$ dB(A) Linee guida Inail</p> <p>$V_{SOR} = 2$ mm/s^2 su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • •

3.2.4 Ambienti ad uso ufficio

Benché il d.lgs. 81/2008 stabilisca dei valori di azione difficilmente superabili negli ambienti ad uso ufficio, in questa sede si ritiene comunque di primaria importanza considerare gli aspetti del comfort acustico finalizzato a migliorare il rendimento delle mansioni svolte.

Nel caso specifico degli ambienti ad uso ufficio/call-center, nella tabella di individuazione dei descrittori più opportuni per l'analisi e la progettazione acustica, si è scelto di suddividere questa categoria in più sotto-categorie, in riferimento alle caratteristiche di campo acustico diffuso o non diffuso. Alcune sotto-categorie sono ambienti di piccole e medie dimensioni che devono essere caratterizzati da un elevato livello di privacy (es. phone boot).

Per lo studio acustico degli ambienti di tipo open-space con caratteristiche di campo non diffuso per disomogeneità geometrica (ampio sviluppo in pianta e altezza contenuta) e/o materica (presenza di assorbimento esclusivamente a soffitto) valgono le medesime considerazioni degli ambienti industriali di grandi dimensioni in cui il descrittore principale per indagare la propagazione acustica interna è il DL_2 e/o il DL_1 . Per questo tipo di ambienti si suggerisce inoltre l'utilizzo del descrittore $D_{2,s}$ 'indice di attenuazione spaziale del livello di pressione del parlato', il quale permette di conoscere la propagazione del rumore nell'ambiente interno mediante l'utilizzo di una sorgente campione che simula lo spettro sonoro e la direttività del parlato. Tale descrittore, permette di comprendere come si propaga il suono della voce all'interno di un ambiente lungo una specifica direttrice e quindi acquisire informazioni più specifiche volte alla riduzione del rumore del parlato tra le differenti postazioni di lavoro. Infine, è stato considerato anche il descrittore rD 'distanza di disattenzione', ovvero la distanza da colui che parla alla quale l'indice di trasmissione del parlato scende sotto il valore pari a 0,50; in altre parole, è la distanza in cui non si riesce più a comprendere il senso del discorso della persona che parla. Negli uffici, e maggiormente nei call-center, l'analisi di tale descrittore diviene di fondamentale importanza in quanto l'operatore che sta svolgendo l'attività è disturbato sia dal rumore di fondo prodotto da altri operatori presenti o dagli impianti dell'edificio, ma anche dalla capacità di comprendere il significato di ciò che sta esprimendo l'operatore che si trova nelle immediate vicinanze.

Ambienti ad uso ufficio

Tabella 6

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
6.1	Ufficio con postazione singola di lavoro	Si tratta di ambienti di piccole dimensioni con la presenza di un unico lavoratore (es. ufficio dirigenziale).	L'obiettivo acustico è un basso livello di rumore di fondo ed un elevato isolamento acustico delle partizioni interne ed esterne	<p>Livello di rumore di fondo L_{Aeq} dB(A)</p> <p>Isolamento acustico delle partizioni interne R_w/D_{nT} (dB)</p> <p>Livello di pressione sonora di calpestio $L'_{n,w}$ (dB)</p> <p>Isolamento acustico di facciata $D_{2,mnT,w}$ (dB)</p> <p>Valore ponderato dell'acceleazione V_{sor} (mm/s^2) su tre assi</p>	<p>$L_{Aeq} \leq 30-40$ dB(A) UNI EN ISO 11690-1:2020</p> <p>$D_{nT,w} \geq 50$ dB Classe III UNI 11367:2010 (ricettivo)</p> <p>$L'_{n,w} \leq 63$ dB Classe III UNI 11367:2010 (ricettivo)</p> <p>$D_{2,mnT,w} \geq 42$ dB d.p.c.m. 5/12/97</p> <p>$V_{sor} = 14$ mm/s^2 su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)</p>	••• •• •• •• •
6.2	Ufficio con due o più postazioni di lavoro (fino a 10 postazioni di lavoro)	Si tratta di ambienti di piccole/medie dimensioni con la presenza di più lavoratori che svolgono compiti simili.	L'obiettivo acustico è un basso livello di rumore di fondo, un tempo di riverberazione contenuto ed un adeguato livello di privacy tra le postazioni di lavoro.	<p>Tempo di riverberazione (s)</p> <p>Livello di rumore di fondo L_{Aeq} dB(A)</p>	<p>$TR \leq 0.5$ ($V \leq 200$ m^3) $TR \leq 0.05$ ($V0,5$ ($100 \leq V \leq 2500$ m^3)) $TR = 2.5$ s $V > 2500$ m^3 UNI EN ISO 11690-1:2020</p> <p>$L_{Aeq} \leq 35-45$ dB(A) UNI EN ISO 11690-1:2020</p> <p>Prospetti B.3 e B.4 della norma UNI EN ISO 9241-6:2001</p>	••• ••

Segue Tabella 6

Ambienti ad uso ufficio

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
6.3	Ufficio open space (oltre 10 postazioni di lavoro)	Si tratta di ambienti di grandi dimensioni ed altezze contenute in cui sono presenti più lavoratori che svolgono mansioni anche molto differenti tra loro. Le postazioni di lavoro possono essere a diretto contatto tra loro oppure schermate da elementi di arredo.	L'obiettivo acustico è un tempo di riverberazione molto basso, un livello di rumore di fondo non eccessivamente elevato, ed un adeguato livello di privacy tra le postazioni di lavoro.	<p>Distanza di disattenzione r_0 (m)</p> <p>Valore ponderato dell'accelerazione V_{sor} (mm/s^2) su tre assi</p> <p>Tempo di riverberazione (s)</p> <p>Indice di attenuazione spaziale del parlato $D_{z,s}$ dB</p> <p>Decadimento sonoro per il raddoppio della distanza DL_z</p> <p>Livello di pressione sonora ponderato A del parlato a 4 m $L_{pA,S,4}$ m dB(A)</p> <p>Livello di rumore di fondo L_{req} dB(A)</p>	<p>$r_p \geq 5$ m UNI EN ISO 3382-3</p> <p>$V_{sor} = 14$ mm/s^2 su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)</p> <p>$TR \leq 0.5$ ($N \leq 200$ m^3) $TR \leq 0.05$ ($V/0.5$ ($100s \leq 2500$ m^3)) $TR = 2.5$ s $V > 2500$ m^3 UNI EN ISO 11690-1:2020</p> <p>$D_{z,s} \geq 7$ dB(A) UNI EN ISO 3382-3:2012</p> <p>$DL_z \geq 4-5$ dB UNI EN ISO 9641-6 $DL_z \geq 9-11$ dB RIL 243-3-2008</p> <p>$L_{pA,S,4}$ m ≤ 48 dB(A) UNI EN ISO 3382-3:2012</p> <p>$L_{req} \leq 35-45$ dB(A) UNI EN ISO 11690-1:2020 Prospetti B.3 e B.4 della norma UNI EN ISO 9241-6:2001</p>	<p>•••</p> <p>•</p> <p>•</p> <p>•••</p> <p>••</p> <p>•••</p> <p>••</p>

Segue Tabella 6			Ambienti ad uso ufficio			
Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
6.4	Phone boot	Si tratta di un ambiente di dimensioni molto contenute (max 2x2x3 m) per lo svolgimento di conferenze call di un unico lavoratore, attrezzato generalmente con una postazione telefonica.	L'obiettivo acustico è un livello di rumore di fondo molto basso e un livello elevato di isolamento acustico delle partizioni interne ed esterne.	<p>Distanza di disattenuazione rD (m)</p> <p>Valore ponderato dell'acclerazione V_{sor} (mm/s^2) su tre assi</p> <p>Livello di rumore di fondo L_{req} dB(A)</p> <p>Isolamento acustico delle partizioni interne $R_{w/dnT}$ (dB)</p>	<p>$r_p \geq 5$ m UNI EN ISO 3382-3:2012</p> <p>$V_{sor} = 14$ mm/s^2 su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)</p> <p>$L_{req} \leq 30$ dB(A) UNI EN ISO 11690-1 Prospetti B.3 e B.4 della norma UNI EN ISO 9241-6:2001</p> <p>$D_{n,TW} \geq 45$ dB UNI 11367 classe IV ricettivo</p> <p>$D_{z,min,TW} \geq 37$ dB Classe III UNI 11367:2010</p>	<p>•••</p> <p>•</p> <p>••</p> <p>•••</p>
6.5	Sale per conferenze call per due o più partecipanti	Si tratta di un ambiente di piccole dimensioni che generalmente ospita fino a 4-6 persone per svolgere conferenze call in remoto.	L'obiettivo acustico è un livello di rumore di fondo molto basso, un tempo di riverberazione contenuto ed un livello elevato di isolamento acustico delle partizioni interne ed esterne.	<p>Valore ponderato dell'acclerazione V_{sor} (mm/s^2) su tre assi</p> <p>Tempo di riverberazione (s)</p>	<p>$V_{sor} = 14$ mm/s^2 su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)</p> <p>$TR \leq 0.5$ ($V \leq 200$ m^3) $TR \leq 0.05$ (W), 0.5 ($100s \leq 2500$ m^3) $TR = 2.5$ s $V > 2500$ m^3 UNI EN ISO 11690-1:2020</p>	<p>•••</p> <p>•</p> <p>•••</p>

Segue Tabella 6

Ambienti ad uso ufficio

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
6.6	Sala riunioni	Si tratta di un ambiente di medie dimensioni con densità di occupazione medio-alta. Può essere dotata di impianto audio-video per effettuazioni di conferenze call in remoto.		<p>Livello di rumore di fondo L_{req} dB(A)</p> <p>Isolamento acustico delle partizioni interne $R_{w/dnT}$ (dB)</p> <p>Isolamento acustico di facciata $D_{2,mnT}$ (dB)</p> <p>Valore ponderato dell'accele-razione V_{sor} (mm/s^2) su tre assi</p>	<p>$L_{req} \leq 30-40$ dB(A) UNI EN ISO 11690-1:2020</p> <p>Prospetti B.3 e B.4 della norma UNI EN ISO 9241-6:2001</p> <p>$D_{nT,w} \geq 45$ dB UNI 11367:2010 classe IV ri-cettivo</p> <p>$D_{2,mnT,w} \geq 37$ dB Classe III UNI 11367:2010</p> <p>$V_{sor} = 14$ mm/s^2 su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)</p>	••• •• •• •
6.7	Spazi collettivi di lavoro o relax	Si tratta di aree aperte realizzate all'interno di uno spazio tipo open-space dal quale possono essere schermati attraverso elementi di arredo con proprietà fonoisolanti e fono-assorbenti. Tali aree sono caratterizzate da una estrema flessibilità di utilizzo.	L'obiettivo acustico è un tempo di riverberazione contenuto ed un adeguato livello di privacy rispetto alle aree di lavoro limitrofe.	<p>Tempo di riverberazione (s)</p> <p>Distanza di disattenzione rD (m)</p> <p>Valore ponderato dell'accele-razione V_{sor} (mm/s^2) su tre assi</p>	<p>$TR \leq 0.5$ ($V \leq 200$ m^3) $TR \leq 0.05$ ($V/0.5$ ($100s \leq V \leq 2500$ m^3)) $TR = 2.5$ s $V > 2500$ m^3 UNI EN ISO 11690-1:2020</p> <p>$rD \geq 5$ m UNI EN ISO 3382-3:2012</p> <p>$V_{sor} = 14$ mm/s^2 su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)</p>	•• ••• •

3.2.5 Mense e ristoranti

Nel caso specifico degli ambienti ad uso mensa e ristoranti, nella tabella di individuazione dei descrittori si è scelto di suddividere questa categoria in più sotto-categorie in riferimento alle caratteristiche del campo acustico. Nello specifico dei locali mensa e dei ristoranti, si tratta di ambienti anche molto ampi ma di altezza contenuta, caratterizzati da un campo acustico generalmente non diffuso. Per quanto riguarda le mense, lo studio acustico dovrà essere svolto mediante l'utilizzo dei descrittori DL_2 e DL_f su specifiche direttrici, mentre il tempo di riverberazione potrà essere utilizzato per analizzare sub-aree ritenute omogenee in termini geometrici e di assorbimento acustico delle superfici. Gli obiettivi principali per la riduzione del rumore nelle mense e nei ristoranti sono principalmente la riduzione della riverberazione su tutto l'ambiente di distribuzione pasti ed il contenimento del rumore degli impianti di trattamento aria. Per quanto riguarda i ristoranti, al fine di contenere l'energia riverberata, è fondamentale lo studio dell'ambiente mediante il descrittore TR e quindi prevedere eventuali interventi per la correzione acustica. Talvolta, l'analisi dimostra la necessità di ripensare il layout dello spazio di somministrazione pasti.

Un locale generalmente poco analizzato dal punto di vista acustico è la cucina. In questi ambienti è fondamentale, sin dalla fase progettuale, considerare tutte le principali fonti di rumore: cappe di aspirazione, rumore antropico, impianto aria, ecc. A titolo di esempio un sistema di estrazione dei fumi di cottura mal progettato può creare livelli di rumore all'interno della cucina anche superiori a 80 dB(A).

Tabella 7

Mense e Ristoranti

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
7.1	Mense (scolastiche / ospedaliere / aziendali)	Si tratta di ambienti di dimensioni fortemente variabili e di altezze contenute con elevata densità di persone. Le superfici e gli arredi devono soddisfare requisiti igienico-sanitari elevati. In generale, essendo ambienti vasti e di altezza contenuta, sono riconducibili a condizioni di campo non diffuso.	L'obiettivo è un tempo di riverberazione molto basso, un rumore di fondo contenuto e, per gli ambienti di grandi dimensioni, riduzione del numero di persone per zona funzionale mediante compartizione acustica.	Tempo di riverberazione (s)	$TR \leq 0.5$ ($V \leq 200$ m ³) $TR \leq 0.05$ ($V \leq 100$) ($100 \leq V \leq 2500$ m ³) $TR = 2.5$ s $V > 2500$ m ³ UNI EN ISO 11690-1:2020	••
				Decadimento sonoro per il raddoppio della distanza DL_2 , DL_r (nei casi campo non diffuso)	$DL_2 \geq 3-4$ dB UNI EN ISO 11690-1:2020	•••
				Livello di rumore di fondo L_{Aeq} dB(A) Linee guida Inrail	$L_{Aeq} \leq 45$ dB(A)	•••
				Valore ponderato dell'accelerazione V_{SOR} (mm/s ²) su tre assi	$V_{SOR} = 14$ mm/s ² su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)	•

Segue Tabella 7

Mense e Ristoranti

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
7.2	Ristoranti	Si tratta di ambienti di dimensioni fortemente variabili e di altezze contenute con elevata densità di persone. In generale, per caratteristiche geometriche, sono riconducibili a condizioni di campo diffuso.	L'obiettivo è un tempo di riverberazione e un livello di rumore di fondo contenuto e, per locali di grandi dimensioni, separazione tra aree funzionali distinte (es. aree per famiglie, ecc.).	Tempo di riverberazione (s)	TR ≤ 0.5 ($V \leq 200$ m ³) TR ≤ 0.05 ($100.5 \leq V \leq 2500$ m ³) TR = 2.5 s $V > 2500$ m ³ UNI EN ISO 11690-1:2020	••
				Livello di rumore di fondo L _{req} dB(A)	L _{req} ≤ 45 dB(A) Linee guida Inail	•••
				Valore ponderato dell'acquerazione V _{src} (mm/s ²) su tre assi	V _{src} = 14 mm/s ² su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)	•
7.3	Cucina	Si tratta di ambienti di dimensioni piccole, in cui sono presenti numerosi arredi e macchine.	L'obiettivo è un rumore di fondo contenuto.	Livello di rumore di fondo L _{req} dB(A)	L _{req} ≤ 65 dB(A) Linee guida Inail	•••

Segue Tabella 7				Mense e Ristoranti		
Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
				<p>Livello di esposizione al rumore a posto operatore L_{Aeq} dB(A)</p>	<p>$L_{EX} \leq 80$ dB(A) d.lgs. 81/2008</p>	<ul style="list-style-type: none"> •
				<p>Valore ponderato dell'accelerazione V_{SOR} (mm/s^2) su tre assi</p>	<p>$V_{SOR} = 14$ mm/s^2 su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)</p>	<ul style="list-style-type: none"> •

3.2.6 Attività commerciali

Anche gli ambienti ad uso commerciale sono stati suddivisi in più sotto-categorie in riferimento alle diverse caratteristiche di campo acustico interno.

Per lo studio acustico di attività commerciali di grandi dimensioni, valgono le considerazioni già esposte in merito all'utilizzo dei descrittori DL_2 e DL_r su specifiche direttrici e del tempo di riverberazione per analizzare sub-aree ritenute omogenee in termini di geometria e assorbimento acustico delle superfici. Gli obiettivi principali per la riduzione della rumorosità di questa categoria di ambienti sono principalmente la riduzione della riverberazione sonora interna e il contenimento del rumore degli impianti di trattamento aria.

Tabella 8 Attività commerciali

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
8.1	Ambienti di piccole dimensioni	Si tratta di ambienti di piccole dimensioni caratterizzati spesso dalla presenza di un'alta densità di arredi.	L'obiettivo acustico principale si individua nell'isolamento acustico tra ambienti adiacenti e verso l'esterno.	Isolamento acustico delle partizioni interne R_w/D_{nT} (dB) Valore ponderato dell'acclerazione V_{sor} (mm/s ²) su tre assi	$R_w \geq 50$ dB d.p.c.m. 5/12/97 $V_{sor} = 14$ mm/s ² su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)	•
8.2	Ambienti di grandi dimensioni	Si tratta di ambienti di medie e grandi dimensioni, solitamente caratterizzati da spazi vasti e bassi con la presenza di un'alta densità di arredi.	L'obiettivo acustico principale è la riduzione della riverberazione e del rumore interno dovuto agli impianti di condizionamento e trattamento dell'aria.	Tempo di riverberazione (s) Isolamento acustico delle partizioni interne R_w/D_{nT} (dB) Livello di rumore di fondo L_{Aeq} dB(A) Decadimento sonoro per il raddoppio della distanza DL_2, DL_r Valore ponderato dell'acclerazione V_{sor} (mm/s ²) su tre assi	$TR \leq 0,5$ ($V \leq 200$ m ³) $TR \leq 0,05$ ($V/0,5$ ($100 \leq V \leq 2500$ m ³)) $TR = 2,5$ s $V > 2500$ m ³ UNI EN ISO 11690-1:2020 $R_w \geq 50$ dB d.p.c.m. 5/12/97 $L_{Aeq} \leq 45$ dB(A) Linee guida Inail $DL_2 \geq 3-4$ dB UNI EN ISO 11690-1:2020 $V_{sor} = 14$ mm/s ² su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)	•• • • ••• •

Segue Tabella 8

Attività commerciali

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
8.3	Gallerie commerciali	Si tratta di un ambiente composto da uno spazio principale di forma irregolare dove si affacciano le singole attività commerciali di dimensione variabile.	L'obiettivo acustico è certamente variabile a seconda delle situazioni e della dimensione degli spazi. Si possono trovare caratteristiche di piccoli e grandi ambienti. Data l'alta densità di persone l'obiettivo principale è il controllo della riverberazione.	Tempo di riverberazione (s)	$TR \leq 0.5$ ($V \leq 200$ m ³) $TR \leq 0.05$ ($0.05 \leq V \leq 2500$ m ³) $TR = 2.5$ s $V > 2500$ m ³ UNI EN ISO 11690-1:2020	••
				Livello di rumore di fondo L_{Aeq} dB(A)	$L_{Aeq} \leq 45$ dB(A) Linee guida Inail	•
				Decadimento sonoro per il raddoppio della distanza DL_2 , DL_f	$DL_2 \geq 3-4$ dB UNI EN ISO 11690-1:2020	•••
				Valore ponderato dell'acclerazione V_{SOR} (mm/s ₂) su tre assi	$V_{SOR} = 14$ mm/s ² su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)	•
8.4	Alberghi	Si tratta di ambienti composti da più vani aventi caratteristiche funzionali diverse, destinati principalmente a servizi di pernottamento.	L'obiettivo acustico per i lavoratori che operano in questa struttura è il controllo della riverberazione negli spazi comuni dove, solitamente, è presente un'alta densità di persone e il controllo della rumorosità degli impianti di condizionamento.	Tempo di riverberazione (s)	$TR \leq 0.5$ ($V \leq 200$ m ³) $TR \leq 0.05$ ($0.05 \leq V \leq 2500$ m ³) $TR = 2.5$ s $V > 2500$ m ³ UNI EN ISO 11690-1:2020	•••
				Livello di rumore di fondo L_{Aeq} dB(A)	$L_{Aeq} \leq 40$ dB(A) Linee guida Inail	••
				Valore ponderato dell'acclerazione V_{SOR} (mm/s ₂) su tre assi	$V_{SOR} = 14$ mm/s ² su tre assi (UNI 9614:2017 capitolo 9)	•

3.2.7 Ambienti per l'intrattenimento

Gli ambienti per l'intrattenimento sono stati suddivisi in sotto-categorie, in riferimento alla specifica destinazione d'uso del luogo. In particolare, ciò che interessa maggiormente in questo tipo di ambiente è la protezione del lavoratore dagli elevati livelli di rumore ivi prodotti. In generale, diviene fondamentale il controllo della riverberazione sonora in tutti quegli spazi soggetti ad affollamento quali piscine e palazzetti dello sport.

Nel caso di teatri, auditori, ecc. le problematiche riguardano prevalentemente gli esecutori, i tecnici di palco, ecc. Questo aspetto talvolta in questi ambienti viene trascurato in quanto l'attenzione ricade quasi esclusivamente sullo studio della qualità acustica dell'ambiente dal punto di vista dei fruitori.

Nel caso delle discoteche e luoghi di pubblico spettacolo in genere, si evidenzia come il d.p.c.m. 215/1999, posto a tutela dei fruitori del locale, definisca limiti molto alti (pari a 95 dB(A) sul livello di pressione sonora media), superiori ai valori di esposizione dei lavoratori definiti dal d.lgs. 81/2008. In funzione della distribuzione funzionale del locale, ciò può entrare in contrasto con le disposizioni del d.lgs. 81/2008 che, per i lavoratori (DJ, baristi, ecc.), fissa i limiti di azione con livelli di esposizione più stringenti. Risulta quindi importante nella fase di progettazione di questa tipologia di ambienti tenere conto delle esigenze sia dei fruitori che dei lavoratori.

Ambienti per l'intrattenimento

Tabella 9

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
9.1	Sale polivalenti	Ambienti di medie e grandi dimensioni in cui sono presenti elevati livelli di rumore (es. per gli esecutori, tecnici di palco, ecc.)	Contenere le emissioni sonore degli strumenti più rumorosi nei confronti degli esecutori più prossimi a questi.	Livello di esposizione al rumore a posto operatore L_{Aeq} dB(A)	$L_{ex} \leq 80$ dB(A) d.lgs. 81/2008	••
9.2	Auditorium					
9.3	Teatri					
9.4	Discoteche e locali danzanti	Ambienti di medie e grandi dimensioni con alta densità di persone e caratterizzati da un elevato rumore.	Contenere le emissioni rumore per gli operatori del settore (piano bar, consolle Dj, ecc.)	Livello di esposizione al rumore a posto operatore L_{Aeq} dB(A) Tempo di riverberazione (s)	$L_{ex} \leq 80$ dB(A) d.lgs. 81/2008 $TR \leq 0,5$ ($V \leq 200$ m ³) $TR \leq 0,05$ ($V 0,5$ ($100 \leq V \leq 2500$ m ³) $TR = 2,5$ s $V > 2500$ m ³) UNI EN ISO 11690-1:2020	••• •
9.5	Palazzetti dello sport	Ambienti di grandi dimensioni con alta densità di persone e caratterizzati da un elevato rumore in determinate situazioni.	L'obiettivo acustico per i lavoratori che operano in queste strutture è il controllo della riverberazione e il controllo della rumorosità degli impianti di condizionamento.	Tempo di riverberazione (s)	Formula C.2 UNI 11367:2010	•••
9.6	Piscine			Livello di rumore di fondo L_{Aeq} dB(A)	$L_{Aeq} \leq 45$ dB(A) Linee guida Inail	•

3.2.8 Ambienti lavorativi soggetti ad elevate pressioni sonore

Rientrano in questa tipologia di ambiti di lavoro, ad esempio, gli operatori che lavorano nei parcheggi aeroportuali e in prossimità delle piste di decollo, i campi di tiro a volo, banchi prova per grandi macchinari, ecc. Nella tabella di individuazione dei descrittori più opportuni per l'analisi e la progettazione acustica di questi ambienti, si è scelto di suddividere questa categoria in più sotto-categorie in riferimento alla specifica destinazione d'uso del luogo di lavoro. Per questa tipologia di ambienti, dato il particolare contesto, non è possibile effettuare interventi acustici alle sorgenti di rumore al fine di ridurre l'esposizione verso i lavoratori. A tal proposito diviene fondamentale lo studio del contesto e l'analisi delle principali sorgenti di rumore allo scopo di garantire l'adeguata protezione degli operatori che svolgono le attività in prossimità delle sorgenti, attraverso DPI e/o azioni sul percorso di propagazione sonora, laddove il contesto lo permette.

Tabella 10 Contesti lavorativi estremi soggetti ad elevati pressioni sonore

Cod.	Classificazione degli ambienti	Peculiarità	Obiettivo acustico	Descrittore acustico	Valore di riferimento	Ordine di importanza dei descrittori
10.1	Lavoratori in aeroporto	In questa categoria si inseriscono attività dove l'operatore è in prossimità di sorgenti in grado di generare pressioni elevatissime.	È necessario valutare l'utilizzo dei DPI per gli operatori che lavorano in prossimità della sorgente.	L_{Cpico} dB(C)	$L_{Cpico} \leq 135$ dB(C) d.lgs. 81/2008	●●●
10.2	Lavoratori in circuiti motoristici					
10.3	Banchi prova per grandi macchinari industriali		Solo per la categoria 8.4: è necessario valutare l'utilizzo dei DPI per l'operatore che prova all'interno dell'area sorgente, ma anche la configurazione ottimale dell'area inserendo eventuali interventi per minimizzare l'impatto verso gli altri utenti e gli operatori che lavorano in prossimità dell'area sorgente.	Livello di esposizione al rumore a posto operatore L_{Aeq} dB(A)	$L_{EX} \leq 80$ dB(A) d.lgs. 81/2008	●●●
10.4	Campi di tiro a volo					

3.3 BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI NORMATIVI

3.3.1 Normativa Nazionale ed europea

[1] **Legge 26 ottobre 1995, n. 447**

Legge quadro sull'inquinamento acustico.

[2] **Decreto Legislativo del 09/04/2008, n. 81**

Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro e s.m.i.

[3] **Decreto Legislativo del 18/08/2000, n. 262**

Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 4 agosto 1999, n. 345, in materia di protezione dei giovani sul lavoro, a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128"; G.U. n. 224 del 25.9.2000.

[4] **Direttiva del Parlamento europeo e del consiglio del 25 giugno 2002 - 2002/44/CE**

Prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (vibrazioni) (sedicesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE) - Dichiarazione congiunta del Parlamento europeo e del Consiglio.

[5] **Decreto ministeriale 11 ottobre 2017**

Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici.

[6] **Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975**

Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica.

[7] **D.p.c.m. 5 dicembre 1997**

Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici.

[8] **D.p.c.m. 16 aprile 1999 n. 215**

Regolamento recante norme per la determinazione dei requisiti acustici delle sorgenti sonore nei luoghi di intrattenimento danzante e di pubblico spettacolo e nei pubblici esercizi.

3.3.2 Manuali, linee guida e pubblicazioni

[9] Inail. Linee guida - Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore in ambienti di lavoro. Edizione 2013.

[10] Associazione Italiana di Acustica (AIA) - Linee guida per la corretta progettazione di ambienti scolastici - 2017.

[11] Building Bulletin 93 (BB93) - 'acoustic design of schools: performance standards. A design guide', Department for Education and Skills. London.

[12] Carfagni M, Luzzi S, Baldini S et al. Comfort e qualità acustica dei luoghi di lavoro - classifica-zione degli ambienti e metodologia per l'analisi e la progettazione acustica. In Atti Convegno dBA. Bologna, 17 ottobre 2018.

[13] Carfagni M, Governi L, Baldini S et al. Metodologia per l'analisi e la progettazione

- acustica dei luoghi di lavoro - il caso studio dei grandi ambienti industriali. In Atti 25° Convegno di igiene industriale - Corvara. Sezione AIDII Triveneta.
- [14] Carfagni M, Governi L, Baldini S et al. Utilizzo dei parametri per l'analisi acustica di un ambiente industriale di grandi dimensioni - Associazione Italiana di Acustica. 46° Convegno Nazionale. Pesaro, 29-31 maggio 2019.
- [15] Angelo Farina (Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Parma - Via delle Scienze 43100 PARMA - [HTTP://pcfarina.eng.unipr.it](http://pcfarina.eng.unipr.it)) - Propagazione sonora e previsione del rumore negli ambienti di lavoro.
- [16] Linea guida per il settore della musica e delle attività ricreative, ai sensi dell'articolo 198 del d.lgs. 81/2008 s.m.i., approvata dalla Commissione consultiva permanente per la sicurezza e la salute sul lavoro nella seduta del 7 marzo 2012.
- [17] Luzzi S. Acoustics and global comfort in the habitat of Anthropocene. Proceedings of 8th International Symposium on temporal Design. Bologna, settembre 2017.
- [18] Luzzi S, Bartalucci C, Di Bella A. Global Comfort in urban planning and acoustic design of buildings. Proceedings of All-Russian Research to Practice conference 'Protection against excessive noise and vibration'. St. Petersburg, March 2019.

3.3.3 Normativa tecnica

- [19] **UNI 11347:2015**
Acustica. Programmi aziendali di riduzione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro.
- [20] **UNI 11532-2:2020**
Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 2: Settore scolastico.
- [21] **UNI EN ISO 11690-1:2020**
Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario - Strategie per il controllo del rumore.
- [22] **UNI EN ISO 11690-2:1999**
Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario - Provvedimenti per il controllo del rumore.
- [23] **UNI EN ISO 11690-3:2000**
Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario - Propagazione del suono e previsione del rumore in ambienti di lavoro.
- [24] **UNI 11367:2010**
Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera.
- [25] **UNI EN ISO 3382-2:2008**
Acustica - Misurazione dei parametri acustici degli ambienti - Parte 2: Tempo di riverberazione negli ambienti ordinary.

- [26] **UNI EN ISO 3382-3:2012**
Acustica - Misurazione dei parametri acustici degli ambienti - Parte 3: Open space.
- [27] **UNI EN ISO 9241-6:2001**
Requisiti ergonomici per il lavoro di ufficio con videoterminali (VDT). Guida sull'ambiente di lavoro.
- [28] **UNI 14257:2004**
Misurazione e descrizione parametrica delle curve di decadimento del suono nello spazio degli ambienti di lavoro per la valutazione delle loro prestazioni acustiche.
- [29] **UNI EN ISO 5349-1:2004**
Misurazione e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano. Requisiti generali.
- [30] **UNI EN ISO 5349-2:2015**
Misurazione e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano. Guida pratica per la misurazione al posto di lavoro.
- [31] **UNI ISO 2631-1:2014**
Vibrazioni meccaniche e urti - Valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse al corpo intero - Parte 1: Requisiti generali.
- [32] **UNI EN 14253:2008**
Vibrazioni meccaniche - Misurazione e calcolo della esposizione alle vibrazioni trasmesse all'intero corpo al fine di tutelare la salute dell'operatore - Guida pratica.
- [33] **UNI 11532-1:2018**
Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 1: Requisiti generali.

4 GLI IMPIANTI DI ESTRAZIONE, CONDIZIONAMENTO E TRATTAMENTO ARIA

Nella progettazione degli impianti meccanici per il condizionamento e trattamento dell'aria l'obiettivo principale è il mantenimento delle condizioni termo-igrometriche al fine di mantenere le condizioni di comfort degli ambienti interni, mentre, nel caso di impianti industriali di estrazione il requisito principale da perseguire è mantenere condizioni di salubrità degli ambienti ove si svolgono le attività mediante l'espulsione dell'aria o l'espulsione di residui derivanti dalle lavorazioni. Questi impianti, sia in ambito civile che industriale, contribuiscono molto spesso in modo sostanziale all'incremento del rumore degli ambienti interni che si sommano alle emissioni sonore delle attività produttive. Eseguire interventi di mitigazione acustica successivi alla messa in opera degli impianti talvolta diviene molto complesso e dispendioso. A tal proposito, in parallelo al progetto ed al dimensionamento dell'impianto, occorre svolgere un'analisi della rumorosità dell'intero sistema mirata alla riduzione, per quanto possibile, del rumore che si propaga a partire dal ventilatore all'interno dei condotti e alle emissioni rumorose che ogni elemento di impianto trasmette nell'ambiente.

Data la complessità dei sistemi, la stima previsionale ed il controllo dei livelli di rumore di ogni elemento dell'impianto spesso non è di facile risoluzione in quanto dipendente da molti fattori legati sia dalla scelta dell'elemento specifico di impianto sia al contesto dove è inserito. Per tali aspetti in letteratura vi sono testi e pubblicazioni che affrontano la stima del rumore degli impianti di ventilazione a partire dalle emissioni di rumore del ventilatore fino alla rigenerazione aerodinamica ed i sistemi per controllare sia il rumore uscente dalle bocche del sistema sia il rumore emesso. Invece, per quanto riguarda la normativa tecnica, il problema del rumore degli impianti viene individuato in termini di rumore nell'ambiente, ma senza trattare nel dettaglio le cause che lo provocano sia in termini quantitativi che qualitativi.

Tra i principali manuali e pubblicazioni presenti in letteratura troviamo il 'Manuale di acustica applicata - L'attenuazione del rumore', Ian Sharland, Ed. Woods Italiana [1] che affronta in modo pratico le problematiche degli impianti aerulici con modelli di calcolo basati su esperienze pratiche al fine di poter stimare le varie componenti del rumore generate da un sistema di ventilazione e/o estrazione aria. Inoltre, come principale testo di riferimento troviamo le pubblicazioni della società ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers) tra le quali si citano: D.D. Reynolds and J.M. Bledsoe, 'Algorithms for HVAC acoustics', 1991 [7], Application Handbook, 'Sound and vibration control, Chapter 48', 2011 [4] e Application Handbook, 'Sound and vibration control, Chapter 43', 1995 [3].

Per quanto riguarda la normativa tecnica di settore si cita principalmente la UNI 11347:2015 'Programmi aziendali di riduzione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro' nel quale, nel perseguire gli obiettivi di riduzione del rumore degli ambienti di lavoro si richiede particolare attenzione alle problematiche delle emissioni rumorose

degli impianti ad aria; la serie di norme tecniche UNI EN ISO 11690 'Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario', nel quale tratta gli aspetti tecnici riguardo la riduzione del rumore degli ambienti di lavoro. Alcune norme tecniche di settore trattano specifici aspetti del rumore di elementi facenti parte degli impianti aeraulici, tra queste si citano la UNI EN ISO 5136:2009 'Determinazione della potenza sonora immessa in un condotto da ventilatori ed altri sistemi di movimentazione dell'aria - Metodo con sorgente inserita in un condotto', la UNI EN ISO 11691:2009 'Determinazione dell'attenuazione sonora dei silenziatori in canali senza flusso - Metodo di laboratorio' e la UNI EN ISO 11820:1999 'Misurazioni su silenziatori in sito'.

In generale, le norme tecniche di settore trattano gli argomenti dei luoghi di lavoro in termini di riduzione delle emissioni rumorose degli ambienti dove si svolgono le specifiche attività, senza entrare nello specifico della progettazione acustica di sistemi di areazione. In sintesi, la sopra citata manualistica costituisce il principale riferimento per l'analisi e dei sistemi di ventilazione a canale. Anche, le linee guida Inail, 'Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro' [9], Edizione 2013 e la scheda 21 Ispesl del 2004, 'Propagazione del rumore nelle condotte d'aria' [8], nel trattare le problematiche del rumore degli impianti degli ambienti industriali riportano nozioni e fonti di letteratura derivanti dalla citata manualistica. A tal proposito, le principali nozioni contenute in questo capitolo sono il risultato dell'analisi bibliografica effettuata oltre a brevi integrazioni tratte da esperienze pratiche. Il presente capitolo vuol rappresentare, dunque, una linea guida pratica riguardante l'analisi e la progettazione acustica degli impianti di ventilazione (immissione ed estrazione aria) al fine di quantificare in termini di livelli di rumore i complessi fenomeni che si verificano a partire dal ventilatore verso i percorsi di propagazione delle canalizzazioni, fino alle terminazioni.

4.1 GLI IMPIANTI AERAILICI

Gli impianti di condizionamento e di trattamento aria in genere spesso rappresentano fonti di rumore che contribuiscono in modo consistente a innalzare i livelli sonori sia in ambiente interno, dove si svolgono le attività di lavoro, sia in ambiente esterno andando a modificare il clima acustico dell'area. Tra l'altro, negli ultimi anni gli impianti di trattamento ad aria hanno subito un notevole sviluppo tecnologico mediante l'adozione di sistemi di controllo che permettono la modularità delle macchine e dei vari elementi che li compongono al fine di ricercare il punto di lavoro più opportuno in riferimento alle condizioni di lavoro volute. Questa innovazione tecnologica ha permesso uno sviluppo di questi sistemi non solo in ambito civile ed industriale su grandi edifici, ma anche nell'ambito di imprese di piccole-medie dimensioni. Il mercato oramai offre un gran numero di prodotti la cui combinazione permette di ottenere flessibilità di utilizzo nel rispetto delle esigenze più stringenti. Comunque sia, tutti i sistemi ad aria hanno in comune una o più macchine demandate al trattamento e movimentazione dell'aria e canalizzazioni che permettono il trasporto e l'immissione/estrazione dell'aria

nei luoghi desiderati. A tal proposito, questa tipologia di impianti si può classificare in tre principali macro-categorie, come di seguito elencate.

Sistemi di riscaldamento/raffrescamento e condizionamento che permettono il controllo della temperatura in regime invernale ed estivo e/o delle condizioni igrometriche e di purezza dell'aria. Questi possono essere a tutt'aria (sistemi a canale dedicati al condizionamento e trattamento aria) o sistemi misti ad aria primaria (dove le canalizzazioni aerauliche sono utilizzate per il controllo delle condizioni igrometriche e purezza dell'aria ed il riscaldamento/raffrescamento è demandato ad altri sistemi). Questi impianti si trovano installati nella maggior parte degli ambienti di lavoro considerati. Sistemi di immissione/estrazione aria installati in ambiti industriali o laboratori al fine di mantenere la giusta purezza dell'aria a seguito di inquinanti prodotti dalle lavorazioni. Sistemi di estrazione degli inerti delle lavorazioni installati prevalentemente in ambiti industriali al fine di raccogliere ed esportare i residui delle lavorazioni prodotti dalla macchina della produzione.

Una seconda classificazione possibile riguarda la velocità dell'aria che attraversa le condotte. Sotto questo profilo, tutti gli impianti aeraulici vengono generalmente suddivisi in due grandi gruppi: impianti ad alta e a bassa velocità. La linea di demarcazione tra i due gruppi non è ben definita, ma è legata alla tipologia di impianto di volta in volta considerata, infatti, è evidente che un impianto aeraulico a servizio di un edificio industriale deve necessariamente avere requisiti diversi da un impianto a servizio di un edificio residenziale. In generale, si può suddividere gli impianti in base alla velocità dell'aria sul condotto principale secondo lo schema seguente.

Tabella 11 Schema di classificazione degli impianti in base alla velocità dell'aria

Condotte di mandata		
Impianti per ambienti civili (commerciale, residenziale, ecc.)	Bassa velocità	Fino a 10 m/s, normalmente compresa tra 5 e 8 m/s
	Alta velocità	Oltre 10 m/s
Condotte di ripresa		
Impianti per ambienti civili (commerciale, residenziale, ecc.)	Bassa velocità	Fino a 9 m/s, normalmente compresa tra 4 e 7 m/s
	Alta velocità	Oltre 9 m/s
Impianti per ambienti industriali	Bassa velocità	Fino a 10 m/s, normalmente compresa tra 5 e 9 m/s
	Alta velocità	Oltre 10 m/s (casi particolari di impianti per l'aspirazione dei residui delle lavorazioni aventi velocità dell'aria anche oltre 20 m/s)

I componenti principali che costituiscono gli impianti ad aria sono riportati nel seguente elenco:

- a) gruppi Frigorifero (GF) e Pompe di Calore (PdC) per la produzione di acqua calda e fredda. Possono essere del tipo aria/acqua, dove il pozzo caldo è l'aria, o acqua/acqua, dove il pozzo caldo è l'acqua proveniente da sistemi geotermici o di falda. Nella maggior parte dei casi queste macchine sono del tipo aria/acqua e devono essere installate, salvo tipologie particolari, in ambiente esterno andando ad introdurre una sorgente di rumore quasi mai trascurabile;
- b) l'unità di trattamento aria (UTA) che, mediante ventilatori centrifughi, batterie di scambio termico e sistemi di umidificazione, permette di immettere ed estrarre l'aria trattata dagli ambienti interni;
- c) ventilatori centrifughi ed assiali (Vc) utilizzati per immettere o estrarre aria dagli ambienti;
- d) condotti di distribuzione dell'aria composti da curve, diramazioni, serrande, ecc.

L'analisi e lo studio delle emissioni rumorose degli impianti ad aria, ed in particolare dei sistemi a canale, dipende da molteplici fattori tra i quali la tipologia di ventilatori adottati i regimi di funzionamento e la distribuzione delle canalizzazioni all'interno dell'ambiente. Spesso accade che in fase di progettazione si tenga conto solo delle esigenze microclimatiche e/o minime/funzionali richieste trascurando gli aspetti acustici in quanto ritenuti secondari. Tale approccio progettuale può creare problematiche di dis-comfort acustico negli ambienti dove si svolgono le attività. Per migliorare tale condizione occorre, talvolta, intervenire su impianti già esistenti anche di recente installazione con dispendio di denaro non preventivato da parte del Committente. Inoltre, l'intervento migliorativo richiede spesso soluzioni tecniche di difficile applicazione o addirittura la sostituzione completa di alcune parti dell'impianto. In tutto ciò, affrontare con cognizione di causa le problematiche acustiche mediante progetto adeguato diviene elemento fondamentale per contenere e controllare la rumorosità dell'impianto.

4.2 VENTILATORI

I ventilatori degli impianti ad aria più utilizzati sono quelli centrifughi e quelli assiali. I ventilatori centrifughi sono utilizzati per l'abilità di generare alte pressioni con dimensioni ridotte, mentre i ventilatori assiali permettono di movimentare una grande portata d'aria ma con basse pressioni. Nella maggior parte degli impianti canalizzati, si utilizzano i ventilatori centrifughi in quanto occorre vincere le perdite di carico dei condotti, tuttavia questi presentano due limiti principali rispetto alla controparte assiale: una minore efficienza e un maggior livello di rumore prodotto.

La classificazione dei vari tipi di ventilatori e la relativa terminologia è stata oggetto di unificazione con la norma UNI EN ISO 13349:2011. In questa norma viene precisato, anzitutto, cosa si intende per 'ventilatore'. Il termine indica la macchina operatrice generica, senza alcun elemento aggiuntivo sia all'entrata (aspirazione) che all'uscita

(mandata). Il termine 'aspiratore' indica invece una macchina particolare, prevista cioè per il collegamento a tubazione solo dal lato aspirazione (es. torrino d'aspirazione).

Per quanto riguarda le prestazioni viene data la seguente classificazione:

- a) ventilatori per bassa pressione: ventilatori per pressioni inferiori o uguali a 2,0 kPa;
- b) ventilatori a media pressione: ventilatori per pressioni maggiori di 2,0 kPa e inferiori o uguali a 10,0 kPa;
- c) ventilatori ad alta pressione: ventilatori per pressioni maggiori di 10,0 kPa e inferiori o uguali a 30,0 kPa.

Inoltre, vengono specificate una serie di casistiche che classificano la tipologia di ventilatore a seconda dell'utilizzo, quale ad esempio per fluidi di alta temperatura o specifiche attività industriali.

Il rumore generato dai ventilatori centrifughi dipende da tre fattori legati dalla tipologia di ventilatore adottato e dalla tecnologia costruttiva, di seguito indicati:

- Rumore aerodinamico
- Rumore meccanico
- Rumore elettromagnetico.

Il rumore aerodinamico è quello che maggiormente influisce sul rumore totale. In macchine molto grandi, però, il rumore meccanico prodotto dagli attriti diventa comunque significativo. Il rumore elettromagnetico, ovvero generato dai motori elettrici, è spesso mascherato da quello aerodinamico, specialmente se il motore stesso è posto all'interno del flusso d'aria. Per i ventilatori centrifughi, dove il motore è di solito posizionato al di fuori del flusso d'aria, il rumore elettromagnetico non contribuisce in modo significativo all'aumento del livello di potenza sonora totale.

Il rumore di origine aerodinamica prodotto dalla rotazione degli organi che compongono il ventilatore è il risultato delle fluttuazioni di pressione causate dalle variazioni periodiche delle forze nel fluido. Questo tipo di rumore in un ventilatore è causato dalle forze di spinta e di resistenza presenti sulle pale che si muovono all'interno dell'aria, dall'interazione impulsiva delle pale con il flusso non perfettamente dritto in ingresso e con l'interazione con eventuali ostacoli vicini facenti parte della struttura della girante. Il rumore aerodinamico non prodotto dalla rotazione della ventola, nel punto di utilizzo del ventilatore, è provocato da una serie di forze random causate da campi fluidi non stazionari, dalla turbolenza e dall'interazione di questa con le strutture rigide incontrate dal flusso.

Essendo il ventilatore la principale causa del rumore che si propaga all'interno delle canalizzazioni, diviene essenziale la scelta tecnologica ed il dimensionamento in termini di portata d'aria. A tal proposito, al fine di contenere il rumore nelle canalizzazioni, è fortemente consigliabile sovrastimare il ventilatore in modo da ottenere un punto di lavoro molto al di sotto della sua potenza nominale. Questo accorgimento consente di ridurre, in maniera significativa, la componente del rumore aerodinamico della girante del ventilatore. Inoltre, con l'introduzione dei motori 'Inverter' a giri variabili, si possono realizzare scenari parziali di utilizzo dove, mediante la riduzione della velocità del ven-

tilatore, è possibile ottenere benefici acustici significativi oltre ad un'ottimizzazione del consumo energetico.

Data la complessità del rumore generato da un ventilatore è opportuno ricavare le caratteristiche di emissione sonora da indicazioni fornite dal produttore in quanto derivanti da misure acustiche in opera. In assenza di dati del produttore, il livello di potenza sonora generato dai ventilatori lo si può calcolare in prima approssimazione mediante la seguente formula tratta dal 'Manuale di acustica applicata - L'attenuazione del rumore', Ian Sharland, Ed. Woods Italiana:

$$L_W = K + 10 \cdot \log Q + 20 \cdot \log P + C \quad [dB]$$

Dove Q è la portata d'aria [m^3/s], P è la pressione statica in [Pa], K è il livello di potenza sonora specifico per ogni banda d'ottava basata su una portata di $1 m^3/s$ ed una pressione totale pari a 1 Pa e C è una costante che dipende dalla frequenza di passaggio delle pale che varia a seconda della tipologia di girante del ventilatore.

Come indicato nel 'Manuale di acustica applicata - L'attenuazione del rumore', Ian Sharland, la formula può essere applicata sostituendo alle costanti valori empirici dedotti da esperienze in campo come di seguito indicato.

$$L_W = 41 + 10 \cdot \log Q + 20 \cdot \log P + C \quad [dB]$$

$$L_W = 94 + 20 \cdot \log KW - 10 \cdot \log Q + C \quad [dB]$$

$$L_W = 67 + 10 \cdot \log KW + 10 \cdot \log P + C \quad [dB]$$

Dove KW è la potenza elettrica del motore in [kW].

Tabella 12 Fattore correttivo 'C' al fine di ricavare lo spettro in frequenza in bande di ottava di ventilatori centrifughi

Tipologia di ventilatore centrifugo	Frequenza [Hz]							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Pale curve rovesce	-4	-6	-9	-11	-13	-16	-19	-22
Pale curve in avanti	-2	-6	-13	-18	-19	-22	-25	-30
Pale radiali diritte	-3	-5	-11	-12	-15	-20	-23	-26

Tabella 13 Fattore correttivo 'C' al fine di ricavare lo spettro in frequenza in bande di ottava di ventilatori assiali

Tipologia di ventilatore assiale	Frequenza [Hz]							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Standard	-7	-9	-7	-7	-8	-11	-16	-18
A flusso misto	-4	-5	-8	-8	-13	-15	-21	-27

La stima della potenza sonora del ventilatore è consigliabile solo in totale assenza di dati acustici forniti dal produttore in quanto, con l'evoluzione tecnologica sia dell'aerodinamica delle giranti che con l'introduzione dei motori elettrici 'Inverter' a giri variabili, si introduce un'incertezza di calcolo molto elevata.

Nel caso in cui vi siano due ventilatori omologhi A e B aventi diverse dimensioni in termini di diametri delle bocche e portata d'aria e funzionanti a velocità diverse, il livello di potenza sonora del ventilatore B si può calcolare a partire dal livello di potenza sonora del ventilatore A mediante la seguente relazione.

$$L_{WB} = L_{WA} + 70 \log \frac{d_B}{d_A} + 50 \log \frac{n_B}{n_A} + 20 \log \frac{Q_B}{Q_A}$$

Dove, L_{WA} e L_{WB} è il livello di potenza sonora del ventilatore A e B in [dB] o [dB(A)], d_A e d_B è il diametro della girante A e B in [mm], n_A e n_B è il numero di giri della girante A e B in [giri/minuto], Q_A e Q_B è la portata d'aria [m^3/h]. La formula si può applicare solo se i due ventilatori appartengono alla stessa serie omologa, in cui tutte le dimensioni tra le grandezze variano in modo proporzionale. Inoltre, questa formula può essere usata per calcolare il livello di potenza sonora dello stesso ventilatore ad un regime di funzionamento diverso a partire dal livello di potenza sonora dichiarato dal produttore.

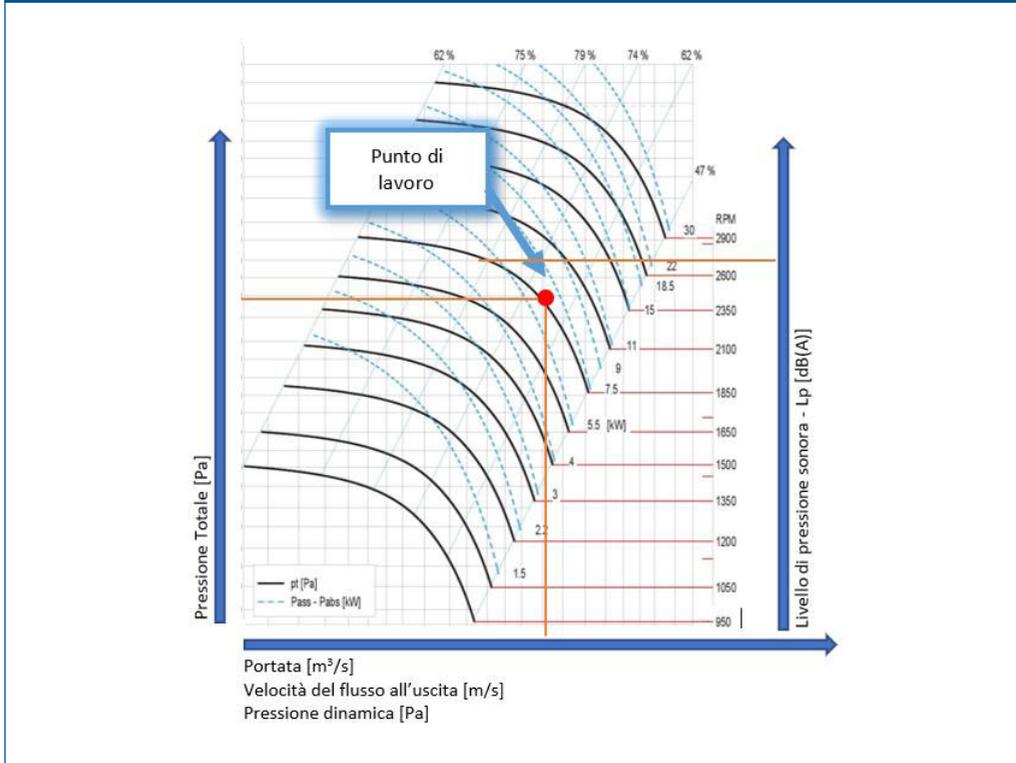
Spesso accade che i ventilatori siano caratterizzati dal produttore mediante misure fonometriche effettuate in campo libero su piano riflettente a bocca libera ai sensi della norma UNI EN ISO 3744:2010, ciò significa che il livello di potenza sonora dichiarato è rappresentativo sia della bocca di mandata che di ritorno (considerando, appunto, il rumore elettrico prodotto dal motore di entità trascurabile rispetto al rumore aerodinamico e meccanico). A tal proposito, nel calcolo previsionale delle condotte d'aria accade che si abbia bisogno di conoscere, ad esempio, l'energia sonora della sola bocca di mandata o della sola bocca di ritorno. Sulla base di esperienze in campo è stato riscontrato che è opportuno sottrarre 2 dB ad ogni banda di frequenza per definire il livello di potenza sonora della bocca di mandata e 4 dB, sempre ad ogni banda di frequenza, per definire il livello di potenza sonora della bocca di ripresa.

Inoltre, con l'introduzione dei motori a giri variabili, spesso risulta necessario conoscere il livello di potenza sonora in regimi parziali al di sotto della potenza nominale del ventilatore. In via empirica è possibile utilizzare le formule precedentemente riportate previa taratura del modello di calcolo utilizzando il valore di potenza sonora dichiarato dal produttore a potenza nominale mediante piccoli aggiustamenti del parametro 'K' e del parametro 'C' per poi ridurre la portata e/o la pressione statica e/o la potenza elettrica del motore al fine di ottenere il livello di potenza sonora al regime parziale desiderato.

Di seguito si riporta un esempio di individuazione delle caratteristiche acustiche di un ventilatore centrifugo sulla base dei dati di input definiti dal progetto dell'impianto.

Figura 1

Grafico della curva caratteristica di un ventilatore centrifugo



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Riepilogo dati:

$Q_v = 11000 \text{ m}^3/\text{h}$

$P_{\text{tot}} = 1450 \text{ Pa}$ ($P_s = 1230 \text{ Pa}$; $P_d = 220 \text{ Pa}$)

Potenza elettrica assorbita = 7,5 kW

$\eta = 75\%$ (massimo rendimento pari a $\eta = 79\%$)

n. di giri = 1.850 rpm (giri della ventola)

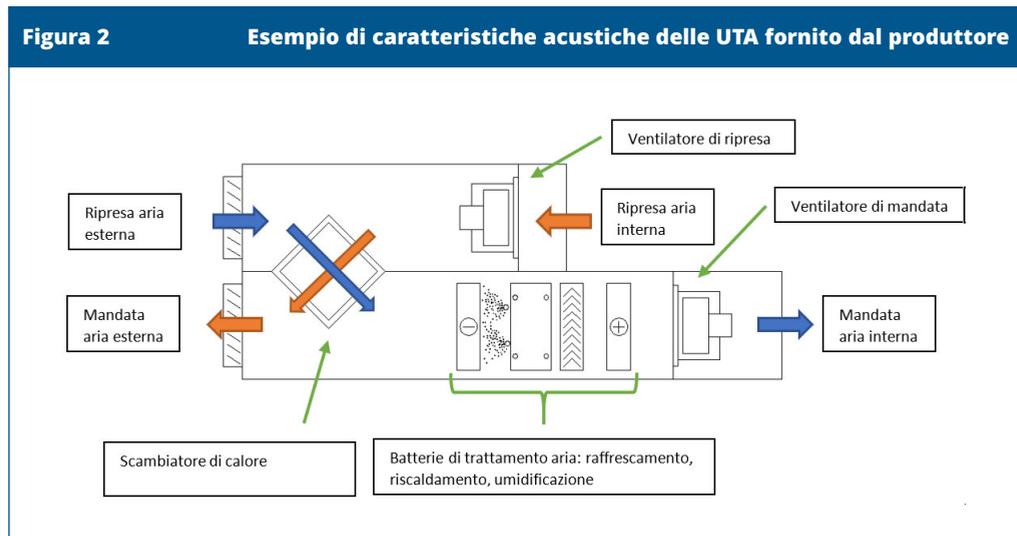
$L_p \approx 81 \text{ dB(A)}$ - (Il livello di pressione sonora è stato ricavato dal grafico della Figura 1 percorrendo la specifica curva di lavoro fino ad incontrare la retta di massimo rendimento. Inoltre, nella tabella al di sotto del grafico si possono trovare i livelli di potenza sonora in bande di ottava del ventilatore in riferimento ad alcuni livelli di pressione sonora dichiarati ad 1,5 m di distanza dalla macchina e rilevati in campo libero su piano riflettente. Il rumore dichiarato comprende l'energia emessa sia della bocca di mandata che di ripresa).

Dal grafico riportato in Figura 1 si può inoltre osservare che, in riferimento alla sezione di uscita del carter del ventilatore, la velocità dell'aria è pari a circa 19 m/s. Questa con-

dizione determina fenomeni di rumore rigenerato all'interno del condotto d'aria se questo viene mantenuto di sezione uguale alla bocca d'uscita del ventilatore. A tal proposito è consigliabile aumentare la sezione del canale fino a ridurre la velocità dell'aria quanto necessario al fine di contenere il rumore rigenerato del condotto.

Al fine di valutare correttamente il rumore nell'ambiente interno è opportuno conoscere anche l'emissione sonora dell'involucro del ventilatore e se questo è già preventivamente dotato di pannellature fonoisolanti e/o fono-assorbenti. Infatti, in ambito industriale spesso accade, che il ventilatore sia posto in un ambiente ove si svolgono attività, e pertanto in tal caso risulta necessario conoscere, non solo la diffusione del rumore uscente dalle terminazioni del condotto del sistema di ventilazione, ma anche il rumore prodotto dall'involucro stesso della girante.

Infatti, nei sistemi di condizionamento composti dalle UTA (Unità di Trattamento Aria), il produttore fornisce informazioni riguardo l'emissione sonora a potenza nominale delle bocche di mandata e di ripresa oltre all'emissione sonora dell'involucro della macchina. Nell'immagine seguente si riporta un esempio di informazione tecnica fornita da un produttore di UTA.



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Tabella 14 Caratteristiche acustiche delle UTA fornito dal produttore

Descrizione	Frequenza [Hz]							Totale dB(A)
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Lato ventilatore di mandata								
Mandata	76	82	84	85	83	80	75	89
Ripresa	73	80	78	76	77	74	72	83
Involucro	65	71	72	72	63	47	33	74
Lato ventilatore di ripresa								
Mandata	75	77	79	80	75	70	66	83
Ripresa	76	76	72	73	70	66	64	77
Involucro	64	66	67	67	55	37	24	69

4.3 CANALI DI DISTRIBUZIONE DELL'ARIA

Le canalizzazioni dell'aria più comunemente utilizzate sono a sezione circolare o rettangolare realizzate in metallo liscio o ABS e nella maggior parte dei casi hanno superfici interne acusticamente riflettenti. Per tale aspetto anche condotte di areazione aventi uno sviluppo molto esteso e ramificato forniscono un contributo piuttosto ridotto in termini di attenuazione sonora per metro lineare di condotto.

Come abbiamo già visto, la principale causa delle emissioni sonore all'interno delle condotte sono imputate al rumore aerodinamico e meccanico prodotto dal ventilatore. Inoltre, in aggiunta a questo, si sommano fenomeni di rigenerazione del rumore provocati dal moto dell'aria la cui entità è direttamente proporzionale alla velocità dell'aria. Il rumore rigenerato in una specifica sezione del condotto varia a seconda dell'elemento del condotto stesso (tratti rettilinei, curve, diramazioni, serrande, ecc.) che contribuiscono in modo diverso alla generazione di moti turbolenti. Il rumore rigenerato è un'energia tutt'altro che trascurabile per alte velocità del flusso d'aria e, ad esempio, nei casi di sistemi di estrazione aria può accadere che vi sia la necessità di mantenere elevata la velocità dell'aria per necessità produttive delle lavorazioni (velocità dell'aria superiori a 20 m/s), questa condizione di funzionamento favorisce in modo importante la generazione di vortici turbolenti all'interno delle condotte creando una condizione in cui il livello di potenza sonora del rumore rigenerato è superiore al quello del ventilatore che si propaga all'interno del condotto stesso.

Riassumendo, analizzando il bilancio energetico delle emissioni rumorose in una data sezione *i*-esima del condotto possiamo trovare tre componenti principali:

1. l'energia sonora che incide le pareti del condotto che mette in vibrazione il condotto favorendo il trasferimento di energia sonora verso l'esterno (fenomeno denominato 'break-out');

2. l'energia sonora (seppur in minima parte) che viene assorbita dallo smorzamento interno delle pareti del condotto indotta soprattutto dalle vibrazioni meccaniche delle pareti del condotto stesso. Nei condotti rettangolari le vibrazioni delle pareti sono più rilevanti rispetto al condotto circolare che, per sua geometria, risulta più rigido. Per questo aspetto i condotti rettangolari risultano avere attenuazioni sonore leggermente maggiori alle basse frequenze. Le attenuazioni sarebbero di gran lunga superiori se la superficie interna del condotto venisse rivestita di materiale assorbente. Tuttavia, questa scelta tecnica può essere adottata solo nei casi in cui non vi siano esigenze igieniche e di pulizia dell'aria in quanto il materiale poroso interno potrebbe rilasciare fibre e parti di materiali andando a contaminare la purezza dell'aria. A tal proposito, i condotti d'aria per la climatizzazione dei locali non sono mai trattati con materiale assorbente interno, pertanto per attenuare il rumore vengono adottati silenziatori in cui il materiale poroso presente viene protetto con una lamiera forata;
3. l'energia residua che prosegue come suono all'interno del condotto.

4.3.1 Attenuazione sonora degli elementi dei condotti - tratti rettilinei e curve

In letteratura, a seconda dell'elemento del condotto, si possono ritrovare valori tipici di attenuazione in ogni banda di frequenza in riferimento ad alcune dimensioni di condotto di sezione circolare o rettangolare.

Di seguito si riporta l'attenuazione in termini di [dB/m] dei condotti rettilinei rigidi in lamiera metallica e delle curve a 90° tratte dal 'Manuale di acustica applicata - L'attenuazione del rumore', Ian Sharland, Ed. Woods Italiana.

Tabella 15		Attenuazione dei condotti rettilinei rigidi in lamiera metallica							
Sezione tipo	Lato minore o diametro [mm]	Attenuazione [dB/m] in banda di ottava [Hz]							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Circolare (senza rivestimento)	75 - 199	0,07	0,10	0,16	0,16	0,33	0,33	0,33	0,33
	200 - 399	0,07	0,10	0,10	0,16	0,23	0,23	0,23	0,23
	400 - 799	0,07	0,07	0,07	0,10	0,16	0,16	0,16	0,16
	800 - 1500	0,03	0,03	0,03	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
 Rettangolare (senza rivestimento)	75 - 199	0,16	0,66	0,49	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
	200 - 399	0,48	0,66	0,49	0,33	0,23	0,23	0,23	0,23
	400 - 799	0,50	0,66	0,33	0,23	0,16	0,16	0,16	0,16
	800 - 1500	0,60	0,33	0,16	0,10	0,07	0,07	0,07	0,07
Circolare (con rivestimento esterno) (*)	75 - 199	0,14	0,20	0,35	0,16	0,33	0,33	0,33	0,33
	200 - 399	0,14	0,20	0,20	0,16	0,23	0,23	0,23	0,23
	400 - 799	0,14	0,14	0,14	0,10	0,16	0,16	0,16	0,16
	800 - 1500	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
 Rettangolare (con rivestimento esterno) (*)	75 - 199	0,35	1,30	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
	200 - 399	1,00	1,30	1,00	0,33	0,23	0,23	0,23	0,23
	400 - 799	1,00	1,30	0,10	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
	800 - 1500	1,00	0,70	0,35	0,10	0,07	0,07	0,07	0,07
Circolare e Rettangolare (con rivestimento fono-assorbente interno) (*)	75	0,60	0,70	3,50	12,00	30,00	35,00	30,00	25,00
	125	0,60	0,70	2,50	7,00	18,00	24,00	18,00	12,00
	200	0,60	0,70	2,00	3,00	10,00	15,00	10,00	8,00
	400	0,60	0,40	0,40	2,50	6,00	10,00	6,00	5,00
Circolare e Rettangolare (con rivestimento fono-assorbente interno ed esterno) (*)	75	1,20	1,40	7,00	12,00	30,00	35,00	30,00	25,00
	125	1,20	1,40	5,00	7,00	18,00	24,00	18,00	12,00
	200	1,20	1,40	4,00	3,00	10,00	15,00	10,00	8,00
	400	1,20	0,80	0,80	2,50	6,00	10,00	6,00	5,00

(*) Il rivestimento fono-assorbente si intende un materiale poroso avente massa specifica 35 - 40 kg/m³ e spessore pari a 50 mm.

Tabella 16		Attenuazione dei condotti curvi a 90° in lamiera metallica							
Sezione tipo - gomiti a sezione rettangolare	Lato minore o diametro [mm]	Attenuazione [dB/m] in banda di ottava [Hz]							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Circolare (senza rivestimento)	75 - 140	0	0	0	0	0	1	2	3
	115 - 275	0	0	0	0	1	2	3	3
	300 - 575	0	0	0	1	2	3	3	3
	600 - 950	0	0	1	2	3	3	3	3
	975 - 1100	0	1	2	3	3	3	3	3
	1105 - 1350	1	2	3	3	3	3	3	3
	1375 - 1500	1	2	3	3	3	3	3	3
Senza alette deflettrici (senza rivestimento)	75 - 100	0	0	0	0	1	7	7	3
	115 - 140	0	0	0	0	5	8	4	3
	150 - 200	0	0	0	1	7	7	4	3
	225 - 275	0	0	0	5	8	4	3	3
	300 - 400	0	0	1	8	6	3	3	3
	425 - 575	0	0	6	8	4	3	3	3
	600 - 825	0	3	8	5	3	3	3	3
	850 - 950	0	5	8	4	3	3	3	3
	975 - 1100	0	6	8	4	3	3	3	3
	1125 - 1350	0	8	6	3	3	3	3	3
1375 - 1500	0	8	5	3	3	3	3	3	
Senza alette deflettrici (con rivestimento fono-assorbente interno)	75 - 100	0	0	0	0	2	13	18	18
	115 - 140	0	0	0	1	7	16	18	16
	150 - 200	0	0	0	2	13	18	18	16
	225 - 275	0	0	1	7	16	18	16	17
	300 - 400	0	0	4	14	18	18	16	18
	425 - 575	0	1	8	17	18	16	17	18
	600 - 825	0	4	15	18	17	17	18	18
	850 - 950	0	5	16	18	17	17	18	18
	975 - 1100	1	8	17	18	17	17	18	18
	1125 - 1350	2	12	18	18	18	18	18	18
1375 - 1500	3	14	18	18	18	18	18	18	
Deviazione a T (rivestimento fono-assorbente solo nella deviazione)	75 - 100	0	0	0	0	11	11	14	13
	115 - 140	0	0	1	1	14	14	14	13
	150 - 200	0	0	2	2	13	13	13	12
	225 - 275	0	0	6	6	12	13	13	11
	300 - 400	0	0	12	12	10	12	12	10
	425 - 575	0	2	14	14	10	10	11	10
	600 - 825	0	4	13	13	10	10	10	10
	850 - 950	0	5	13	13	10	10	10	10
	975 - 1100	0	7	13	13	10	10	10	10
	1125 - 1350	0	11	12	12	10	10	10	10
1375 - 1500	0	12	11	11	10	10	10	10	

Per quanto riguarda l'attenuazione del rumore su condotti rettilinei a sezione quadrata, in letteratura (si veda ASHRAE D.D. Reynolds and J.M. Bledsoe, 'Algorithms for HVAC acoustics') esistono, inoltre, due formule dedotte da esperienze sperimentali che permettono di stimare l'attenuazione sonora, di seguito riportate:

$$\begin{aligned} Att_q &= 75,1 \left(\frac{P}{A}\right)^{-0,25} f^{-0,85} L && \text{per } \frac{P}{A} \geq 10 \\ Att_q &= 2,26 \left(\frac{P}{A}\right)^{0,73} f^{-0,58} L && \text{per } \frac{P}{A} < 10 \end{aligned}$$

Dove, P in [m] è il perimetro del condotto, A in [m²] è l'area della sezione del condotto, f in [Hz] è la frequenza in bande di ottave ed L in [m] è la lunghezza del condotto.

In generale, i condotti a sezione quadrata hanno attenuazione alle basse frequenze maggiori dei condotti circolari in quanto, per geometria strutturale, quest'ultimi sono più rigidi. In un canale quadrato le vibrazioni delle pareti permettono, quindi, di ottenere attenuazioni leggermente maggiori alle basse frequenze.

Attenuazione sonora degli elementi dei condotti - plenum di distribuzione e diramazioni

Di seguito si riportano le formule per la definizione dell'attenuazione di un plenum di distribuzione tratte dalla pubblicazione ASHRAE, Application Handbook, 'Sound and vibration control, Chapter 48', 2011.

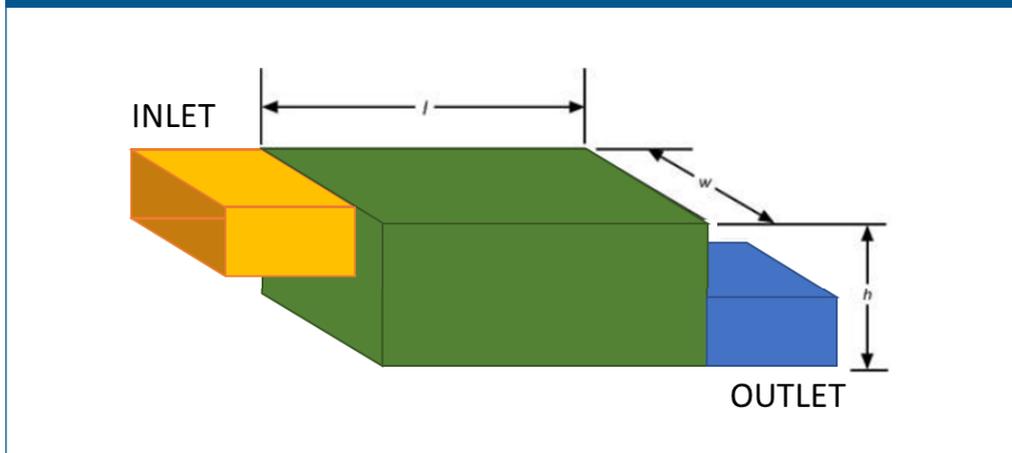
$$Att_{pl} = -10 \log \left\{ S_2 \left[\frac{\cos r}{2\pi d^2} + \frac{1}{R_c} \right] \right\} \text{ dB}$$

Dove S_2 è l'area della bocca di uscita in [m²], r è l'angolo in gradi [°] formato dalla linea che unisce la bocca di ingresso e la bocca di uscita rispetto all'asse centrale delle due bocche, d è la distanza in [m] tra il centro della bocca di ingresso ed il centro della bocca di uscita, R_c è la costante d'ambiente calcolata secondo la seguente formula:

$$R_c = \frac{Sr \alpha_m}{(1 - \alpha_m)}$$

Dove Sr è la superficie totale interna del plenum inclusi i fori delle bocche di ingresso e uscita, α_m è il coefficiente di assorbimento medio del plenum considerando $\alpha = 1$ per le bocche di ingresso e uscita.

È possibile calcolare l'attenuazione in frequenza mediante l'applicazione del coefficiente di assorbimento acustico in riferimento alla specifica banda di frequenza. Nella figura seguente si riporta lo schema geometrico del plenum.

Figura 3 Schema geometrico del plenum di distribuzione (inserire griglia e banner)

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Per quanto riguarda le diramazioni, invece, non vi è una vera e propria perdita di energia dovuta alla specifica geometria della diramazione stessa. È desumibile piuttosto che nel caso in cui il condotto principale si divida in due distinti canali vi sia una ripartizione dell'energia proporzionale alla portata d'aria della diramazione stessa. A tal proposito è possibile stimare l'attenuazione su ciascuna diramazione rispetto all'energia del condotto principale mediante la seguente formula:

$$Att_{dir} = -10 \log \frac{Q_{dir}}{Q_{tot}}$$

Dove, Q_{dir} [m^3/h] è la portata d'aria della diramazione e Q_{tot} [m^3/h] è la portata d'aria del condotto principale prima della diramazione.

4.3.2 Attenuazione sonora degli elementi dei condotti - silenziatori

Al fine di contenere le emissioni rumorose di un impianto ad aria sia di estrazione/immissione sia per il condizionamento degli ambienti è opportuno lavorare sul rumore prodotto dal ventilatore e sul rumore rigenerato prodotto dal moto dell'aria all'interno del condotto. Qualora questi accorgimenti non siano sufficienti è possibile applicare dei filtri acustici dissipativi in punti lungo la canalizzazione ritenuti significativi, come ad esempio in prossimità della bocca del ventilatore e/o in prossimità di elementi di condotto che creano un aumento del rumore rigenerato.

Esistono in commercio silenziatori applicabili a condotti cilindrici e silenziatori applicabili a condotti rettangolari composti da setti fono-assorbenti.

Entrambi le tipologie sono realizzate con materiale poroso avente caratteristiche di fonoassorbimento (lana minerale, poliestere, ecc.) di spessore variabile da 50 mm a 200-250 mm e protetto da una lamiera forata al fine di contenere l'usura del materiale stesso a fronte dell'attrito generato dallo scorrimento dell'aria. Al fine di massimizzare l'attenuazione sonora, dato che la trasmissione del rumore nelle canalizzazioni è perlopiù composta da energia in media-bassa frequenza, è opportuno scegliere silenziatori con materiale fono-assorbente avente uno spessore uguale o maggiore di 100 mm; inoltre, nel caso di filtri dissipativi circolari è sempre opportuno dotarli di ogiva centrale rivestita di materiale fono-assorbente.

I parametri che caratterizzano le prestazioni acustiche di questi dispositivi si possono riassumere nei punti indicati di seguito:

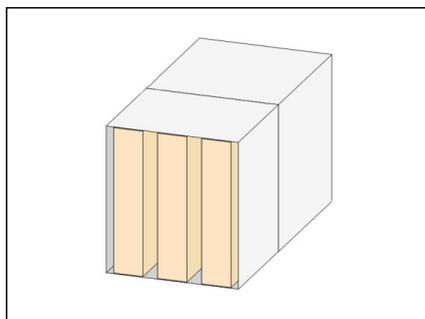
- attenuazione [Att_{sil}]: riduzione del livello di potenza sonora all'interno del condotto in dB o dB(A);
- rumore rigenerato [L_{WA}]: livello di potenza sonora del rumore generato dal flusso aerodinamico dell'aria all'interno del silenziatore e dipendente dalla velocità dell'aria;
- perdita di pressione statica [Pa]: perdite di carico che genera il dispositivo e dipendenti dalla geometria intera e dalla velocità dell'aria.

I silenziatori cilindrici sono elementi le cui pareti esterne sono rivestite con materiale fono-assorbente. Possono essere dotati di un'ogiva cilindrica fono-assorbente posizionata lungo l'asse centrale del dispositivo la quale permette di aumentare ulteriormente le prestazioni acustiche del silenziatore. Nella maggior parte dei casi, i produttori di silenziatori forniscono dati di attenuazione sonora per lunghezze pari ad uno o due volte il diametro nominale del dispositivo.

I silenziatori applicabili ai canali rettangolari sono composti da setti acustici inseriti all'interno del canale stesso composti da superfici rivestite mediante materiale fono-assorbente. Questa tipologia di silenziatori hanno solitamente prestazioni maggiori rispetto a quelli cilindrici ed inoltre permettono di poter scegliere la configurazione più opportuna in riferimento agli obiettivi di attenuazione ricercati nel rispetto delle caratteristiche prestazionali che l'impianto deve garantire. I setti hanno uno spessore che varia da un minimo di 50 mm ad un massimo di 200 mm. L'interspazio tra i setti e quindi lo spazio risultante tra ogni setto, influisce sulle prestazioni del silenziatore: minore è lo spazio e maggiore sarà l'attenuazione del rumore. A tal proposito occorre tenere conto che i setti acustici riducono la sezione del condotto, pertanto, al fine di contenere il rumore rigenerato e le perdite di carico, è opportuno aumentare la sezione del canale e quindi contenere la velocità dell'aria entro valori ritenuti accettabili.

Le case produttrici generalmente forniscono informazioni riguardo l'attenuazione sonora (test svolti ai sensi della norma ISO 7235:2009) e le perdite di carico del silenziatore. In alcuni casi, il produttore fornisce anche il livello di potenza sonora del rumore rigenerato in bande di frequenza in funzione della velocità dell'aria. A tal proposito, in fase di progetto acustico, è di fondamentale importanza considerare la velocità dell'aria e quindi il livello di rumore rigenerato al fine di poter stimare correttamente

le prestazioni in esercizio del silenziatore. Di seguito si riporta un esempio di stima ipotizzando di calcolare il livello di potenza sonora uscente dal silenziatore posto alla bocca di espulsione di un ventilatore.



Caratteristiche del silenziatore:

numero setti: 3

dimensione del canale (AxB): 900 x 1000 mm

Lunghezza del silenziatore: 1750 mm

Larghezza dei setti: 200 mm

Spazio di passaggio tra i setti: 100 mm

Tipologia del materiale assorbente: materassino in fibra minerale

Dati di progetto:

Portata d'aria: 15000 m³/h

Velocità dell'aria tra i setti: 13,9 m/s

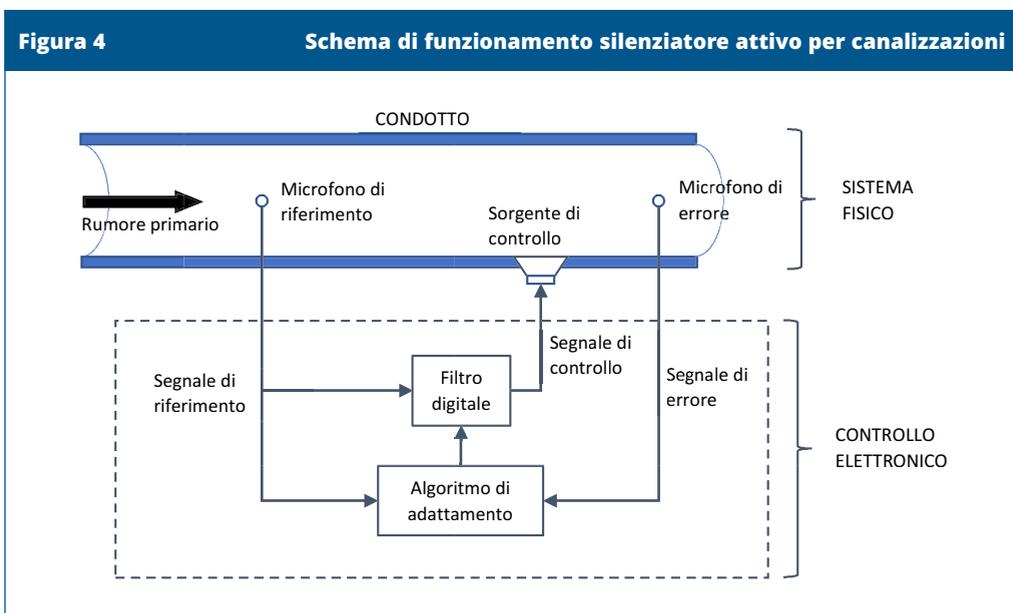
Perdite di carico: 80 Pa

Tabella 17 Stima del livello di potenza sonora uscente da un silenziatore posto in prossimità della bocca di uscita di un ventilatore

Descrizione	Attenuazione [dB/m] in banda di ottava [Hz]							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Livello di potenza sonora alla bocca di espulsione del ventilatore	79.0	81.0	78.0	75.0	73.0	65.0	60.0	58.0
Attenuazione del silenziatore dichiarato dal produttore	6.0	17.0	34.0	36.0	38.0	29.0	19.0	15.0
Livello di potenza sonora attenuata dal silenziatore	73.0	64.0	44.0	39.0	35.0	36.0	41.0	43.0
Livello di potenza sonora del rumore rigenerato (velocità dell'aria 13,9 m/s)	61.0	57.0	52.0	48.0	44.0	40.0	37.0	34.0
Livello di potenza sonora a valle del silenziatore	73.3	64.8	52.6	48.5	44.5	41.5	42.5	43.5
Attenuazione del silenziatore in opera, considerando il rumore rigenerato	5.7	16.2	25.4	26.5	28.5	23.5	17.5	14.5

Nei casi in cui il produttore del silenziatore non possiede le informazioni riguardo il rumore rigenerato, a partire dalla velocità dell'aria di progetto, è possibile stimare il livello di potenza sonora del rumore rigenerato mediante la procedura riportata al capitolo 4.3.4. Se non fosse possibile l'utilizzo di silenziatori dotati di materiali poroso al suo interno, come ad esempio nel caso di debba silenziare un condotto dove al suo interno scorre vapore ad alte temperature, è consigliabile utilizzare silenziatori che permettono l'assorbimento del rumore mediante pannelli microforati che agiscono come risuonatori di Helmholtz aventi fori di diametro variabile e cavità di profondità diverse al fine di coprire il più ampio campo di frequenze.

È comunque evidente che sia nel caso di silenziatori dotati di materiale fibroso sia di silenziatori dotati di pannelli microforati l'effetto di assorbimento è carente alle basse frequenze. A tal proposito trovano applicazione sistemi di controllo attivo del rumore dove il campo sonoro in bassa frequenza che si propaga all'interno dei condotti riconducibili con una propagazione monodirezionale, è di più facile riproduzione rispetto alle condizioni che si verificano in uno spazio tridimensionale. In sintesi, si tratta di riprodurre un segnale mediante l'ausilio di un diffusore aventi le caratteristiche di un campo sonoro pressoché piano in cui la pressione sonora istante per istante è uguale e sfasata rispetto a quella che si propaga verso valle. Il sistema è composto da due microfoni, uno posto a valle e l'altro posto a monte del diffusore che riproduce il segnale di controllo. Il primo microfono rileva il segnale di riferimento ed il secondo microfono rileva il segnale di errore e lo invia alla centralina che elabora e aggiusta la misura del segnale di controllo da riprodurre attraverso l'altoparlante. Nell'immagine seguente si riporta lo schema a blocchi di tale sistema.



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

I sistemi attivi per silenziare il rumore all'interno delle condotte attualmente non sono di comune utilizzo per il loro delicato funzionamento (taratura e resa del sistema) ed il costo più elevato rispetto ad i silenziatori passivi di più facile costruzione e installazione.

4.3.3 Attenuazione sonora degli elementi dei condotti - terminali

Alla terminazione del condotto, l'energia che rimane viene irradiata nell'ambiente dopo aver subito una ulteriore attenuazione e/o rigenerazione del rumore prodotta dalla tipologia di terminale e dalla velocità dell'aria risultante. Negli impianti di climatizzazione la funzione principale del terminale è quella di provvedere alla diffusione dell'aria trattata nelle modalità necessarie al fine di rispettare le esigenze di comfort dello specifico ambiente. In particolare, l'estrema variabilità tipologica dei terminali è riscontrabile per le bocche di mandata, mentre, per l'aria di ripresa spesso sono semplici griglie ad alette. Nel caso di sistemi di estrazione d'aria o di estrazione inerti delle lavorazioni in ambito industriale, date le notevoli velocità dell'aria e rumorosità dei ventilatori, lo specifico terminale non incide in modo rilevante sulle emissioni di rumore del sistema condotto e pertanto può essere trascurato.

In particolare, al terminale del condotto si presentano tre fenomeni che determinano l'effettiva energia sonora che si irradia nell'ambiente:

Attenuazione del rumore per effetto della discontinuità dell'impedenza nel passaggio dell'energia dal condotto all'ambiente;

Attenuazione del rumore per effetto della forma tipologica del terminale;

Rigenerazione del rumore dipendente dalla forma geometrica del terminale e dalla velocità dell'aria.

L'attenuazione per discontinuità dell'impedenza (punto 1) crea una riflessione dell'energia sonora che ritorna verso il condotto. Questo fenomeno è di difficile trattazione matematica ma in via approssimativa può essere quantificato mediante le formule di seguito individuate tratte dalla pubblicazione ASHRAE D.D. Reynolds and J.M. Bledsoe, 'Algorithms for HVAC acoustics'.

$$Att = 10 \log \left[1 + \left(\frac{C_0}{\pi f D} \right)^{1,88} \right] \quad \text{nel caso di immissione omnidirezionale}$$

$$Att = 10 \log \left[1 + \left(\frac{0,8 C_0}{\pi f D} \right)^{1,88} \right] \quad \text{nel caso di immissione su una parete}$$

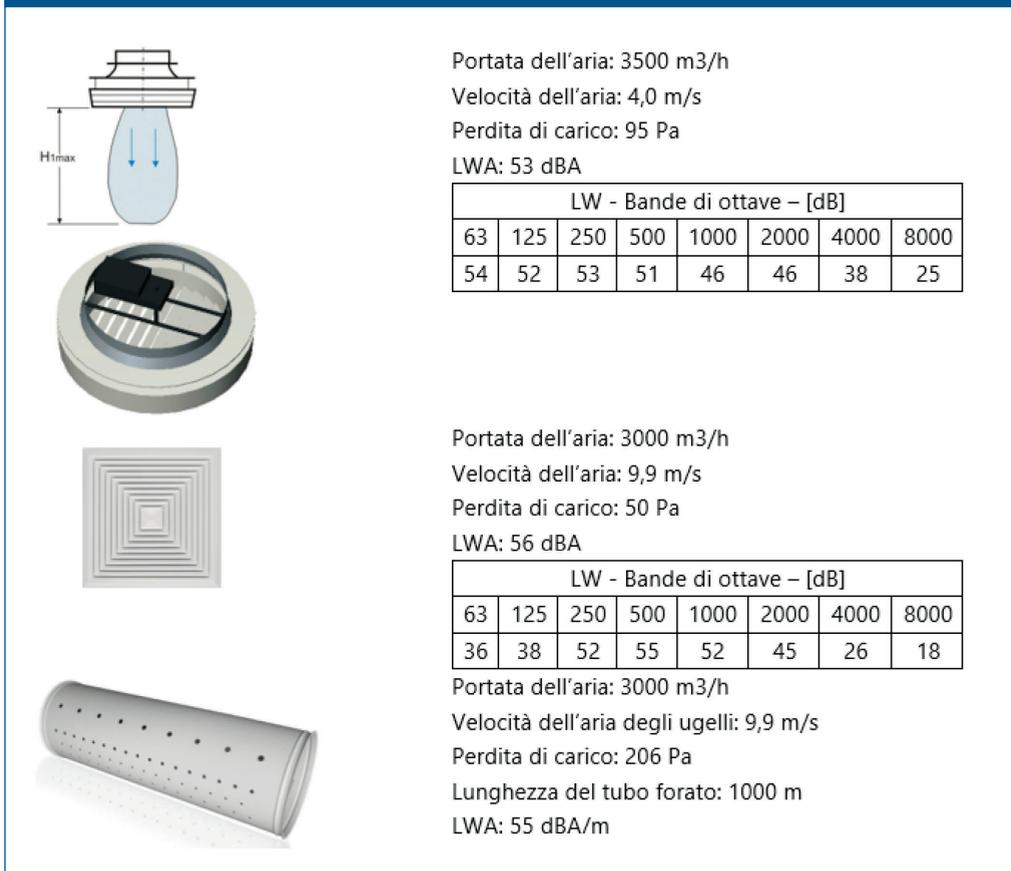
Dove, C_0 è la velocità del suono pari a 342 m/s, D è il diametro equivalente del condotto in [m], f è la frequenza di centro banda in [Hz].

Invece, per quanto riguarda l'attenuazione e rigenerazione del rumore (punti 2 e 3) prodotta dalla specifica tipologia di terminale, questa è fortemente dipendente dalla

geometria del terminale stesso e per tale aspetto è opportuno riferirsi ai dati forniti dal produttore. Nella tabella seguente si riportano alcuni esempi di tipologie di bocchette di distribuzione aria tratti da prodotti presenti in commercio.

Figura 5

Esempi di elementi terminali tratti da prodotti commerciali



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

4.3.4 Rumore rigenerato all'interno dei condotti

Il fenomeno della rigenerazione del rumore all'interno del condotto dipende da molti fattori e per tale aspetto è di difficile quantificazione. Le principali cause che determinano tale fenomeno acustico sono da attribuire agli effetti turbolenti prodotti dal moto del fluido e dalla geometria degli elementi cui è composto il condotto. In particolare, l'attrito che si genera tra il fluido ed i bordi del condotto genera dei vortici tali da creare fenomeni turbolenti e quindi rumore aerodinamico, altresì, quando il filetto fluido

incontra un ostacolo (serranda, curva, diramazione, ecc.) vi individuano variazioni di moto del fluido tali da generare turbolenze interne al condotto.

Per definire il rumore rigenerato in ogni tratto di condotto la letteratura fornisce la formula tratta dal 'Manuale di acustica applicata - L'attenuazione del rumore', Ian Sharland e riportata di seguito:

$$L_{WR} = K + 10 \log S + 55 \log v - 45 \text{ [dB]}$$

Dove, S è la sezione del condotto in $[m^2]$, v è la velocità del fluido in $[m/s]$, K è il dato di potenza dedotto da esperienze pratiche e riportato nella tabella 18. Si evidenzia che per quanto riguarda i condotti rettilinei il livello di potenza del rumore rigenerato $[L_{WR}]$ è riferito ad un metro di condotto e pertanto occorre effettuare la somma energetica dei contributi in riferimento all'effettiva lunghezza del condotto progettato.

Tabella 18 Rumore rigenerato dal flusso d'aria nel condotto (fattore K)	
Elementi dell'impianto	K [dB] Livello di potenza sonora globale (bande d'ottava tra 250 e 8000 Hz)
Condotto rettilineo	38
Strozzatura (rapporto di riduzione 3:1)	47
Raccordi di 90° curvi	48
Raccordi di 90° curvi ad angolo con deflettori	56
Raccordi di 90° curvi ad angolo senza deflettori	57
Raccordo a "T" a 90°	55
Serranda aperta	44
Serranda chiusa a 15°	53
Serranda chiusa a 30°	60
Serranda chiusa a 45°	65

A partire dalla stima del livello di potenza sonora $[L_{WR}]$, è possibile calcolare lo spettro in frequenza in bande di ottava mediante i fattori correttivi riportati in Tabella 19.

Tabella 19 Correzioni per ottenere il livello di rumore rigenerato in bande di ottave								
Frequenza - [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB	-7	-7	-8	-10	-17	-29	dB	-7

Per le bocchette, in mancanza di dati forniti dal produttore, per la stima del rumore rigenerato si può utilizzare in prima approssimazione la formula indicata di seguito sempre tratta 'Manuale di acustica applicata - L'attenuazione del rumore', Ian Sharland.

$$L_{wb} = 10 \log S + 55 \log v + 5 \text{ [dB]}$$

Dove S è l'area libera della bocchetta [m^2], v è la velocità del fluido in [m/s]. Il livello di potenza sonora in bande di ottava può essere ricavato mediante i fattori correttivi indicati in Tabella 19.

Su specifici elementi, quali bocchette di espulsione, serrande, ecc. è opportuno reperire i dati del rumore rigenerato dichiarati dal produttore in quanto ricavati da prove sperimentali in laboratorio.

Rumore di Break-out e Break-in

Parte dell'energia sonora che si propaga e si genera all'interno di un condotto per effetto del flusso d'aria fuoriesce all'esterno attraverso le pareti del condotto stesso. Il rumore emesso da un condotto è, pertanto, dipendente dalla forma del condotto stesso (rettangolare o cilindrico) e dal materiale cui è composto. In particolare, condotti cilindrici, essendo per geometria costruttiva più rigidi, hanno prestazioni di isolamento acustico migliori alle medie-basse frequenze rispetto ai condotti rettangolari ove per geometria costruttiva le pareti sottoposte al flusso dell'aria entrano in vibrazione. Questo fenomeno è chiamato 'Break-out noise' ed in letteratura viene ampiamente trattato nelle pubblicazioni ASHRAE tra le quali si citano: D.D. Reynolds and J.M. Bledsoe, 'Algorithms for HVAC acoustics', 1991, e Application Handbook, 'Sound and vibration control, Chapter 43', 1995.

Di seguito si riporta la formula e la procedura di calcolo per la stima del rumore emesso in esterno da un condotto tratta dalle sopra indicate pubblicazioni.

$$L_{wr} = L_{wi} + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) - TL_{out}$$

Dove, L_{wr} è il rumore irradiato da una specifica sezione del condotto in [dB], L_{wi} è il rumore interno al condotto in una specifica sezione del condotto in [dB], S è la superficie esterna del condotto che emette energia sonora in [m^2], A è la sezione del condotto in [m^2] e TL_{out} è la perdita di energia sonora dipendente dalla tipologia di tubazione in [dB] (si veda Tabella 20 e Tabella 21).

Nel caso di canali rettangolari:

$$S = 24 L (a + b); \quad A = a b$$

Dove a e b sono le dimensioni del canale in [m] ed L è la lunghezza del condotto in [m].

Nel caso di canali circolari:

$$S = 12 L \pi d; \quad A = \pi \frac{d^2}{4}$$

Dove, d è il diametro del condotto in [m] ed L è la lunghezza del condotto in [m].

Tabella 20		T_{Lout} per canali rettangolari							
Dimensione canale [m]	Sezione del canale [m ²]	Bande di ottava [dB]							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0,30 x 0,30	0.09	21	24	27	30	33	36	41	45
0,30 x 0,61	0.18	19	22	25	28	31	35	41	45
0,30 x 1,22	0.37	19	22	25	28	31	37	43	45
0,61 x 0,61	0.37	20	23	26	29	32	37	43	45
0,61 x 1,22	0.74	20	23	26	29	31	39	45	45
1,22 x 1,22	1.49	21	24	27	30	35	41	45	45
1,22 x 2,44	2.98	19	22	25	29	35	41	45	45

Tabella 21		T_{Lout} per canali circolari							
Dimensione canale [m]	Sezione del canale [m ²]	Bande di ottava [dB]							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0,20	0.03	45	53	55	52	44	35	34	27
0,35	0.10	50	60	54	36	34	31	25	20
0,56	0.25	47	53	37	33	33	27	25	20
0,82	0.53	51	46	26	26	24	22	38	30

Ponendo a confronto canali circolari e rettangolari aventi circa ugual sezione, si nota che il parametro TL_{out} per i condotti a sezione circolare è significativamente più alto rispetto ai condotti rettangolari. Infatti, l'uso di condotti circolari, per rigidità strutturale, può ridurre il fenomeno di break-out, mentre, i condotti rettangolari per vibrazioni delle pareti hanno capacità fonoisolanti minori ma, viceversa, sono migliori nell'attenuare il rumore interno al condotto stesso e quindi alla bocca di uscita.

Il rumore di break-out, quando si manifesta, è uno dei problemi più gravi da fronteggiare. La sua origine può essere individuata nelle tre cause che seguono.

Rumore interno di livello elevato (più di frequente, il rumore immesso dal ventilatore) che si trasmette all'esterno attraverso le pareti dei condotti.

Rumore aerodinamico generato da corpi interagenti con la corrente all'interno che si trasmette all'esterno attraverso le pareti dei condotti.

Vibrazioni delle pareti dei condotti indotte dalla turbolenza del flusso d'aria.

L'isolamento esterno mediante l'utilizzo di materiale poroso non produce un miglioramento significativo del fenomeno di Break-out. A tal proposito è consigliabile aumentare la massa superficiale del condotto anche mediante pannelli rigidi in modo da aumentare l'isolamento acustico delle pareti stesse del condotto.

Viceversa, il rumore di Break-in è definito come il fenomeno del rumore che dall'ambiente esterno entra all'interno del condotto attenuato dall'isolamento delle pareti del condotto. Il rumore di break-in si verifica principalmente nei condotti che attraversano ambienti rumorosi quali ad esempio centrali impiantistiche che poi si propaga negli ambienti abitativi attraverso le canalizzazioni del sistema di climatizzazione. Questo fenomeno è certamente sentito maggiormente negli edifici civili piuttosto che in impianti industriali. Di seguito si riporta la formula di letteratura sempre tratta dalle pubblicazioni ASHRAE che descrive questo fenomeno.

$$L_{wi} = L_{wo} + TL_{in} - 3$$

Dove, L_{wi} è livello di potenza sonora del rumore trasmesso nel condotto e quindi trasmesso a monte a valle del punto di ingresso in [dB], L_{wo} livello di potenza sonora del suono incidente all'esterno delle pareti dei condotti in [dB] e TL_{in} è la perdita di energia sonora dipendente dalla tipologia di tubazione in [dB] (si veda Tabella 22, Tabella 23 e Tabella 24).

Tabella 22		T_{Lin} per canali rettangolari						
Dimensione canale [m]	Bande di ottava [dB]							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0,30 x 0,30	16	16	16	25	30	33	38	42
0,30 x 0,61	15	15	17	25	28	32	38	42
0,30 x 1,22	14	14	22	25	28	34	40	42
0,61 x 0,61	13	13	21	26	29	34	40	42
0,61 x 1,22	12	15	23	26	28	36	42	42
1,22 x 1,22	10	19	24	27	32	38	42	42
1,22 x 2,44	11	19	22	26	32	38	42	42

Tabella 23		T_{Lin} per canali circolari						
Dimensione canale [m]	Bande di ottava [dB]							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0,20	>17	31	39	42	41	32	31	-
0,35	>17	43	43	31	31	28	22	-
0,56	>28	40	30	30	30	24	22	-
0,82	35	36	23	23	21	19	35	-

Tabella 24

 T_{Lin} per canali ovali

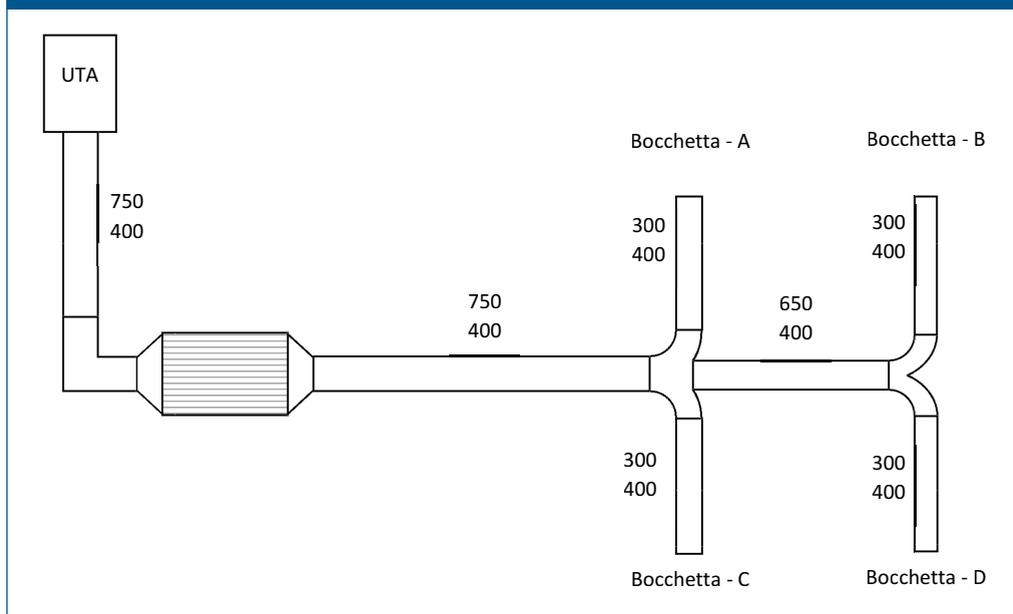
Dimensione canale [m]	Bande di ottava [dB]							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0,20	>20	>42	>59	>62	53	43	26	-
0,35	>20	>36	44	28	31	32	22	-
0,56	>27	38	20	23	22	19	33	-
0,82	>27	32	25	22	23	21	37	-

4.3.5 Esempio di stima previsionale del rumore di un condotto d'aria

Di seguito si riporta la stima del livello di potenza sonora uscente dalla bocchetta 'A' a partire dai dati acustici del ventilatore dichiarati dal produttore di un impianto di climatizzazione. Nella figura seguente si riporta lo schema d'impianto, mentre nella successiva tabella si riporta un calcolo basato sulle procedure esposte in precedenza.

Figura 6

Schema di esempio di un impianto di climatizzazione



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

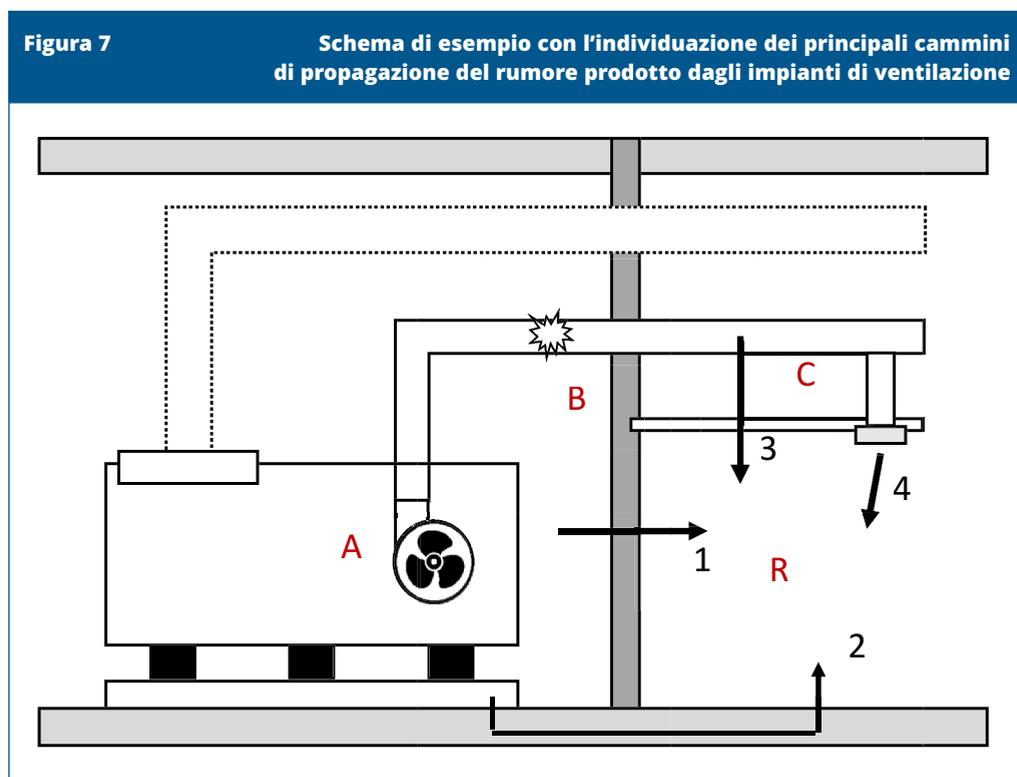
Tabella 25

Esempio di calcolo per la stima del livello di potenza sonora della bocchetta 'A'

Livello di potenza sonora dell'UTA in [dB]									
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Lato Mandata	49,0	58,0	73,0	74,0	76,0	68,0	66,0	64,0	
Tratto condotto rettangolare 750x400mm									
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Attenuazione condotto [dB/m]	0,50	0,66	0,33	0,23	0,16	0,16	0,16	0,16	
Attenuazione [dB]	1,80	1,50	1,40	1,7	1,70	1,70	1,7	1,70	3,0
Generazione interna al metro [dB/m]	20,60	20,60	13,60	13,60	12,60	10,60	3,60	-8,40	0,28
Generazione interna [dB]	25,4	25,40	18,40	18,40	17,40	15,40	8,4	3,60	4,0
Livello di potenza attenuata [dB]	47,20	56,50	71,70	72,40	74,40	66,40	64,40	62,40	4032,0
Livello di potenza residua del tratto [dB]	47,20	56,50	71,70	72,40	74,40	66,4	64,40	62,40	
Curva gomito 90°									
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Attenuazione [dB]	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	-
Generazione interna [dB]	39,6	39,6	32,6	32,6	31,6	29,6	22,6	10,6	4,0
Livello di potenza attenuata [dB]	47,2	56,5	70,7	70,4	71,4	63,4	61,4	59,4	0,28
Livello di potenza residua del tratto [dB]	47,9	56,6	70,7	70,4	71,4	63,4	61,4	59,4	4032,0
Silenziatore a setti lunghezza 1500 mm									
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Attenuazione [dB]	3,0	8,0	16,0	25,0	33,0	34,0	27,0	18,0	
Generazione interna [dB]	12,6	12,6	5,6	5,6	4,6	2,6	-4,4	0,0	4,0
Livello di potenza attenuata [dB]	44,9	48,6	54,7	45,4	38,4	29,4	34,4	41,4	0,28
Livello di potenza residua del tratto [dB]	44,9	48,6	54,7	45,4	38,4	29,4	34,4	41,4	4032,0
Tratto condotto rettangolare 750x400mm									
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Attenuazione condotto [dB/m]	0,50	0,66	0,33	0,23	0,16	0,16	0,16	0,16	
Attenuazione [dB]	2,5	3,3	1,7	1,2	0,8	0,8	0,8	0,8	5,0
Generazione interna al metro [dB/m]	20,6	20,6	13,6	13,6	12,6	10,6	3,6	0,0	4,0
Generazione interna [dB]	27,6	27,6	20,6	20,6	19,6	17,6	10,6	0,0	0,28
Livello di potenza attenuata [dB]	42,4	45,3	53,0	44,2	37,6	28,6	33,6	40,6	4032,0
Livello di potenza residua del tratto [dB]	42,6	45,4	53,0	44,2	37,6	28,9	33,6	40,6	
Diramazione									
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Attenuazione [dB]	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	2,33
Livello di potenza residua del tratto [dB]	36,5	39,3	47,0	38,2	31,6	22,9	27,6	34,5	0,12
									1008,0
Curva diramazione 90° - condotto 300x400mm									
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Attenuazione [dB]	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	-
Generazione interna [dB]	23	13,8	6,8	6,8	5,8	3,8	0,0	0	2,33
Livello di potenza attenuata [dB]	36,5	39,3	46	36,2	28,6	19,9	24,6	31,5	0,12
Livello di potenza residua del tratto [dB]	36,7	39,4	46	36,2	28,6	20	24,6	31,5	
Tratto condotto rettangolare 300x400mm									
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Attenuazione condotto [dB/m]	0,5	0,66	0,33	0,23	0,16	0,16	0,16	0,16	
Attenuazione [dB]	1,0	1,3	0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	2,0
Generazione interna al metro [dB/m]	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,33
Generazione interna [dB]	7,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,12
Livello di potenza attenuata [dB]	35,7	38	45,3	35,7	28,3	19,7	24,2	31,2	1008,0
Livello di potenza residua del tratto [dB]	35,7	38	45,3	35,7	28,3	19,7	24,3	31,2	
Bocchetta - A									
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Attenuazione [dB]	9,2	4,8	1,9	0,6	0,2	0,0	0,0	0,0	
Generazione interna [dB]	30,0	28,0	25,0	24,0	20,0	18,0	14,0	11,0	
Livello di potenza attenuata [dB]	26,5	33,2	43,4	35,1	28,1	19,7	24,3	31,2	
Livello di potenza sonora irradiata in ambiente [dB]	31,6	34,4	43,5	35,5	28,8	21,9	24,6	31,3	
Ponderazione A	26,2	16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
Livello di potenza sonora irradiata in ambiente [dBA]	5,4	18,3	34,9	32,3	28,8	23,1	25,6	30,2	
									Globale [dBA] 38,6

4.4 ACCORGIMENTI TECNOLOGICI

Il problema delle emissioni rumorose dei canali dell'aria di un sistema di ventilazione è legato principalmente al rumore aerodinamico generato dalla girante del ventilatore ed al rumore che si rigenera all'interno dei condotti per effetto del moto del fluido. Oltre alla propagazione del rumore per via aerea, può diventare rilevante anche il rumore trasmesso negli ambienti abitativi per via strutturale e prodotto sia dal ventilatore sia dai condotti entrambi ancorati alle strutture dell'edificio. Nella figura seguente si riporta uno schema dove vengono indicati i principali cammini di propagazione del rumore, sia aereo che strutturale, prodotti dal sistema di ventilazione.



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Dove:

Le sorgenti di rumore:

A ventilatore;

B condotti dell'aria (rumore rigenerato, fenomeno di Break-out);

- C cammini di propagazione;
- R rumore per via aerea dalle strutture verticali e/o orizzontali;
- R rumore per via strutturale che si trasmette dal collegamento rigido tra gli elementi dell'impianto e le strutture dell'edificio;
- R rumore aereo e strutturale indotto dai condotti d'aria. Fenomeno di Break-out;
- R rumore aereo immesso nell'ambiente attraverso le bocchette.

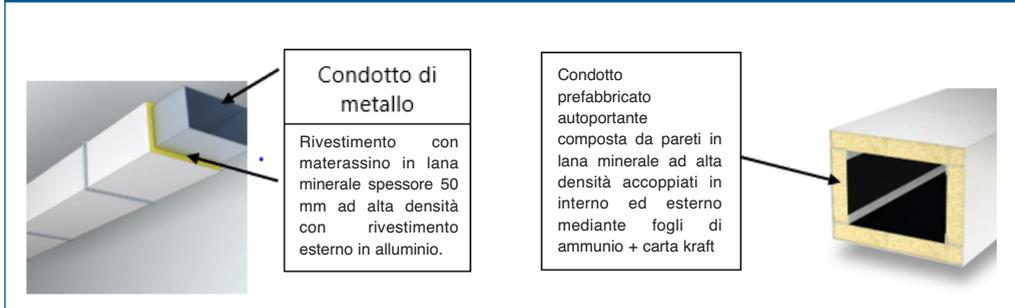
Al fine di contenere le emissioni rumorose che si trasmettono per via aerea è opportuno agire in modo diverso a seconda della tipologia del cammino di propagazione. Ad esempio, nel caso in cui, il ventilatore (oppure un sistema UTA) sia posto in un ambiente tecnico confinato è opportuno studiare adeguatamente l'isolamento acustico delle strutture divisorie tra il locale tecnico e gli ambienti abitativi. Inoltre, al fine di ridurre i livelli di rumore nell'ambiente ove è posto il ventilatore, è opportuno rivestire le pareti del locale tecnico con materiale fono-assorbente in modo da minimizzare l'energia trasmessa nel locale abitativo. Per quanto riguarda il rumore aereo emesso dai condotti di areazione invece occorre agire mediante l'utilizzo di canali aventi elevate proprietà di fonoisolamento oppure contenere delle condotte all'interno di un'intercapedine aventi proprietà di isolamento e assorbimento del rumore. Tali accorgimenti permettono di ridurre fino a rendere trascurabile il rumore aereo prodotto dagli elementi principali dell'impianto in modo da imputare la rumorosità per via aerea solo a ciò che esce dalle bocchette e quindi controllabile mediante la riduzione della velocità dell'aria e/o mediante l'utilizzo di bocchette con caratteristiche aerodinamiche tali da minimizzare la rigenerazione del rumore. Invece, in ambito industriale accade spesso che sia il ventilatore che i condotti siano posti direttamente nell'ambiente ove si svolgono le attività. Per questo aspetto occorre trovare opportuni accorgimenti al fine di minimizzare e contenere, per quanto possibile, le emissioni rumorose dei vari elementi d'impianto come indicato di seguito:

- prevedere delle canalizzazioni aventi caratteristiche di adeguato isolamento acustico al fine di contenere il fenomeno di Break-out;
- utilizzare un ventilatore con il cui involucro ha adeguate capacità di isolamento acustico. Oppure, qualora possibile, prevedere la realizzazione di un box acustico che lo contiene.

Controllare in modo adeguato la velocità dell'aria del sistema e la pressione all'interno del condotto in modo tale da garantire le richieste dell'impianto sempre senza eccessivi sovradimensionamenti. A tal proposito, è di fondamentale importanza utilizzare motori a giri variabili in modo da controllare, in funzione delle effettive richieste, sia la coppia sia la velocità della girante.

Figura 8

Esempi di isolamento dei condotti d'aria mediante rivestimento con materiale pesante (ad esempio lane minerali ad elevata densità), o condotte d'aria prefabbricate già costruite con materiale fonoisolante



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Per quanto riguarda la problematica del rumore per via strutturale occorre minimizzare gli effetti della propagazione mediante lo scollegamento rigido di ogni elemento di impianto dalle strutture dell'edificio mediante l'utilizzo di sistemi antivibranti. Di seguito si elencano tutti gli elementi principali dell'impianto che concorrono a trasmettere vibrazioni alle strutture circostanti.

- Movimentazione degli apparati meccanici del ventilatore genera vibrazioni che a loro volta vengono trasmesse sia ai punti di fissaggio della macchina, sia ai condotti a cui sono collegati. Nel caso di sistemi UTA la trasmissione delle vibrazioni avviene anche attraverso le tubazioni per il trasporto del fluido termovettore alle batterie di scambio collegate a loro volta alle strutture dell'edificio.
- Vibrazioni dei condotti aerulici indotte dal moto interno dell'aria e dalla trasmissione proveniente dal ventilatore.
- Vibrazioni prodotte dai dispositivi dell'impianto quali: pompe di circolazione, gruppi frigorifero a servizio dell'impianto, ecc.

Nelle figure seguenti si riportano alcuni esempi di elementi che permettono di scollegare rigidamente i componenti dalle strutture dell'edificio.

Figura 9

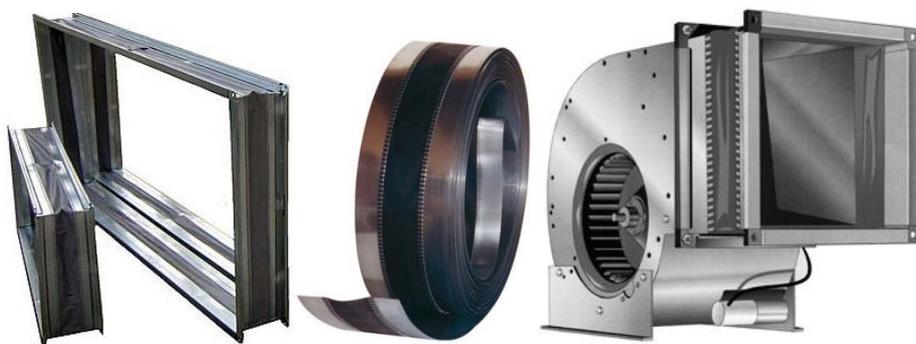
Sistemi antivibranti per l'appoggio del ventilatore



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 10

Antivibranti tra il condotto ed il ventilatore



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 11

Antivibranti sulle connessioni delle condotte



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 12

Antivibranti per tubazioni per il trasporto del fluido termovettore



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

4.5 BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI NORMATIVIE

4.5.1 Manuali e linee guida

- [1] Sharland Ian, Manuale di acustica applicata - l'attenuazione del rumore. Ed. Woods Italiana.
- [2] Maffei L. Dispense di acustica, Università di Ferrara, Valutazione e controllo della propagazione del rumore nelle condotte d'aria.
- [3] ASHRAE 1995 HVAC Application Handbook, Sound and vibration control, Chapter 43.
- [4] ASHRAE 2011 Application Handbook, Sound and vibration control, Chapter 48.
- [5] ASHRAE 2009 Application Handbook, Fundamentals.
- [6] ASHRAE 2012 Application Handbook, Heating, Ventilating and Air-Condition, system and equipment.
- [7] ASHRAE 1991, D.D. Reynolds and J.M. Bledsoe, Algorithms for HVAC acoustics.
- [8] Ispesl, scheda 21 - propagazione del rumore nelle condotte d'aria, 2004.
- [9] Inail, Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro. Edizione 2013.

4.5.2 Pubblicazioni

- [10] Guidozzi P, Garai M, Cocchi A. Un prototipo di controllo attivo del rumore in condotti a sezione rettangolare. In: atti del XXVII Convegno Nazionale - AIA. 1999, Genova.
- [11] Forouharmajd F, Nassiri P. Technical Note - Noise reduction of a fan and air duct by using a planum chamber based on ASHRAE guidelines. Journal of low frequency noise, vibration and active control, pp 221-227.
- [12] Semprini G, Guidozzi P, Garai M. Experimental Evaluation of Noise Propagation through Rectangular Ducts in HVAC system. 2003, Euronoise Naples. paper ID: 242/p.1.

4.5.3 Normativa tecnica

- [13] **UNI 11347:2015**
Acustica - Programmi aziendali di riduzione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro'.
- [14] **UNI 11532-2:2020**
Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 2: Settore scolastico'.
- [15] **UNI EN ISO 11690-1:2020**
Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario - Strategie per il controllo del rumore.
- [16] **UNI EN ISO 11690-2:1999**
Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario - Provvedimenti per il controllo del rumore.

- [17] **UNI EN ISO 11690-3:2000**
Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario - Propagazione del suono e previsione del rumore in ambienti di lavoro.
- [18] **UNI EN ISO 3744:2010**
Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante misurazione della pressione sonora. Metodo tecnico progettuale in un campo essenzialmente libero su un piano riflettente.
- [19] **UNI EN ISO 3746:2009**
Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora e dei livelli di energia sonora delle sorgenti di rumore mediante misurazione della pressione sonora - Metodo di controllo con una superficie avvolgente su un piano riflettente.
- [20] **UNI EN ISO 9614-1:2009**
Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensimetrico - Parte 1: Misurazione per punti discreti.
- [21] **UNI EN ISO 9614-2:1998**
Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensimetrico - Misurazione per scansione.
- [22] **UNI EN ISO 9614-3:1998**
Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensimetrico - Parte 3: Metodo di precisione per la misurazione per scansione.
- [23] **UNI EN ISO 14163:2001**
Acustica - Linee guida per la riduzione del rumore con i silenziatori.
- [24] **UNI EN ISO 5136:2009**
Acustica - Determinazione della potenza sonora immessa in un condotto da ventilatori ed altri sistemi di movimentazione dell'aria - Metodo con sorgente inserita in un condotto.
- [25] **UNI EN ISO 11691:2009**
Acustica - Determinazione dell'attenuazione sonora dei silenziatori in canali senza flusso - Metodo di laboratorio.
- [26] **UNI EN ISO 11820:1999**
Acustica - Misurazioni su silenziatori in sito.
- [27] **UNI EN ISO 13349:2011**
Ventilatori - Vocabolario e definizioni delle categorie.

5 PROCEDURA DI ANALISI E METODI PER LA PROGETTAZIONE/BONIFICA ACUSTICA DEGLI AMBIENTI DI LAVORO

In questo capitolo vengono illustrate le fasi di analisi e progettazione acustica in riferimento alla specifica categoria di ambiente di lavoro, a partire dalla fase di analisi e raccolta dei dati, fino alla conclusione del processo di progettazione comprendente il collaudo acustico degli interventi realizzati. Le procedure sono state distinte a seconda che si intervenga su edifici esistenti o su edifici in fase di progettazione. Nel caso di edifici esistenti la fase iniziale di analisi è necessariamente più consistente e complessa, in quanto si devono prevedere misure fonometriche mirate alla conoscenza dell'ambiente e delle sorgenti acustiche presenti. La procedura di analisi e progettazione è stata così suddivisa:

- a) FASE DI ANALISI
 - A.1 Analisi del quadro conoscitivo
 - A.2 Fase di analisi operativa - acquisizione dati
- b) FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA
- c) INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI
- d) DIREZIONE DEI LAVORI
- e) COLLAUDO ACUSTICO

Le procedure di analisi e progettazione acustica sono state strutturate attraverso un elenco sistematico di attività da svolgere al fine di risolvere le problematiche acustiche dello specifico ambiente di lavoro.

5.1 PROCEDURE DI ANALISI E PROGETTAZIONE SU EDIFICI ESISTENTI

Nei paragrafi che seguono vengono espone le procedure di analisi e progettazione acustica elaborate per il caso specifico degli ambienti di lavoro esistenti che necessitano di interventi di miglioramento acustico.

Nel caso di edifici esistenti la fase di analisi è certamente la fase più corposa e complessa, in quanto finalizzata alla conoscenza dettagliata dello stato attuale in termini di caratteristiche acustiche dell'ambiente di lavoro, di sorgenti di rumore, della struttura dell'edificio, delle attività che vi si svolgono, ecc. Questa fase è particolarmente complessa nel caso di vecchi edifici con presenza di macchine e sistemi impiantistici datati per i quali non è possibile reperire informazioni documentali.

5.1.1 Ambienti di lavoro di tipo industriale

a) FASE DI ANALISI

A.1 Analisi del quadro conoscitivo

1. Raccolta dati: raccolta dei dati forniti dal committente, dalle amministrazioni locali o da altri tecnici esterni che si sono occupati degli aspetti progettuali dello specifico luogo di lavoro: planimetrie, sezioni, layout stabilimento, progetto o as built degli impianti tecnici (impianti ad aria e sistemi di asportazione residui, illuminazione, rilevatori di fumo, antincendio, ecc.), valutazione esposizione al rumore dei lavoratori, stratigrafie delle partizioni interne ed esterne, particolari tecnologici, ecc.
2. Raccolta informazioni dei processi produttivi: valutazione delle caratteristiche specifiche dell'azienda e dei suoi processi produttivi, comprendente l'identificazione di particolari esigenze igieniche e di sicurezza delle sorgenti e dell'ambiente, mediante colloqui con i responsabili di area, il capo reparto, gli addetti al Servizio di Prevenzione e Protezione, gli RLS, ecc.
3. Sorgenti acustiche: individuazione delle principali sorgenti acustiche (macchine, impianti tecnici e attrezzature di lavoro), tempi e modalità di funzionamento.
4. Raccolta schede tecniche e manuali d'uso: reperimento delle schede tecniche e dei manuali d'uso delle principali sorgenti acustiche (impianti tecnici, macchine e attività della produzione) contenenti i dati acustici di emissione sonora. Per ciascuna macchina occorre reperire il riferimento alla norma della procedura per prove di rumorosità utilizzata, oppure, se non esiste una tale procedura per la macchina in esame, occorre la descrizione completa del metodo di misurazione dell'emissione di rumore, della posizione in cui si trova il posto di lavoro, delle condizioni di montaggio e di funzionamento e del ciclo operativo della macchina adottati nel caso specifico: macchina a vuoto o caricata e tipo di lavorazione eseguita con le relative informazioni di dettaglio (ad esempio per le macchine destinate al taglio, occorre conoscere le caratteristiche del provino, la velocità di avanzamento del provino, la velocità di rotazione dell'utensile, ecc.). Si suggerisce di richiedere le seguenti informazioni:
 - livelli di pressione sonora nel/nei posto/i di lavoro per bande di frequenza;
 - livelli di potenza sonora per bande di frequenza;
 - informazioni sulla direttività dell'emissione del suono, se rilevante.
5. Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili.
6. Definizione dei descrittori e dei valori obiettivo: Definizione dei descrittori da utilizzare nel caso specifico in riferimento alle tabelle riportate al capitolo 3.2 (es. livelli di pressione sonora nei posti di lavoro, dati riferiti al rumore ambientale e/o all'esposizione, curve di decadimento spaziale del suono, l'indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, l'eccesso del livello di pressione sonora, tempi di riverberazione, ecc.) e dei relativi valori obiettivo in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame ed alle esigenze da perseguire nello specifico contesto.

A.2 Fase di analisi operativa - acquisizione dati

7. Misure di caratterizzazione dell'ambiente: Misure fonometriche di caratterizzazione dell'ambiente utilizzando il più opportuno descrittore in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame (TR, DL_2 , DL_f , ecc.).
8. Misure del rumore di fondo: Misure fonometriche del rumore di fondo (ambienti non occupati e impianti spenti).
9. Misure degli impianti tecnici: Misure fonometriche in corrispondenza del funzionamento degli impianti tecnici (riscaldamento, trattamento e ricambio aria, aspirazione polveri, ecc.).
10. Mappatura acustica dello stabilimento: Eventuali misure fonometriche per l'elaborazione della mappatura acustica dello stabilimento o delle aree di interesse, finalizzata a fornire la valutazione della rumorosità presente. Le misure dovranno essere effettuate mediante griglia di punti georeferenziati (x, y, 1.6 m), rispetto ad un punto noto e la griglia dovrà avere punti più fitti intorno alle sorgenti o alle aree ritenute più critiche e punti meno fitti a distanza da sorgenti o nelle aree meno critiche. Il tempo di misura dovrà tenere conto delle caratteristiche di emissione delle sorgenti, al fine di rilevare la massima rumorosità presente (rumore impulsivo, rumore stazionario, ecc.). Analisi della mappa per l'individuazione delle zone più critiche.
11. Analisi delle vibrazioni: Analisi delle connessioni tra sorgente e supporti (soffitto, pareti, ecc.) e delle caratteristiche di propagazione delle sorgenti (aerea, aerea/strutturale), al fine di individuare le tipologie più corrette di misure da effettuare.
12. Caratterizzazione acustica delle sorgenti: Qualora si verifichi l'incompletezza dei dati raccolti di cui ai punti 3 e 4, si dovrà procedere alla caratterizzazione acustica delle sorgenti sonore mediante misure fonometriche (serie di norme UNI EN ISO 374X) o intensimetriche (serie di norme UNI EN ISO 9614), queste ultime soprattutto nel caso in cui la produzione non può essere fermata. Per la caratterizzazione delle sorgenti si deve tenere conto anche del tipo e del regime di funzionamento. Oltre alle misure per la determinazione del livello di potenza sonora, si suggerisce di effettuare misure fonometriche a distanze note dalla sorgente esaminata, al fine di utilizzarle in fase successiva per la validazione della specifica sorgente all'interno del modello di calcolo adottato. Inoltre, al fine di capire le emissioni sonore di alcuni specifici elementi quali condotti di areazione o bocche di espulsione/immissione aria, è possibile effettuare misure intensimetriche puntuali affiancate a letture della velocità dell'aria all'interno dei condotti, al fine di caratterizzare il rumore in uno specifico regime di funzionamento.
13. Misure di vibrazioni: Nel caso il contesto e le esigenze lo richiedano, si dovrà procedere a fare misure di vibrazioni al fine di valutare il contributo di energia trasmessa alle strutture rispetto a quella che si propaga esclusivamente per via aerea. Una macchina collegata rigidamente può contribuire anche sensibilmente all'aumento dei livelli sonori nell'ambiente di lavoro.
14. Rilievo geometrico e materico dello stabilimento: comprendente tutti gli elementi

acusticamente influenti ai fini della propagazione sonora. Tra questi, oltre a pavimento, pareti e soffitto, si individuano principalmente le superfici interne di grandi dimensioni che delimitano lo spazio al suo interno (schermi, divisori, cappottature, cabine, ecc.) e gli arredi (macchine, aree di stoccaggio di materiali, pilastri, condotti, ecc.).

15. Costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente e validazione attraverso il confronto con i dati di caratterizzazione dell'ambiente misurati di cui al punto 8. Il modello deve essere il più possibile semplificato e contenere elementi con dimensioni caratteristiche non inferiori a 1.5 m; elementi come scaffali, tavoli, piccole macchine, ecc. possono essere trattati collettivamente variando i coefficienti di assorbimento e diffusione delle superfici dove essi giacciono. Ai fini della taratura si suggerisce di lavorare con i coefficienti di assorbimento acustico/diffusione degli elementi poco noti e/o complessi per geometria e materiali (es. arredi, merci depositate, impianti, macchinari, ecc.). Successiva implementazione nel modello acustico delle sorgenti e dei ricevitori; eventuale validazione delle sorgenti esistenti mediante le misure fonometriche eseguite a distanza dalla sorgente di cui al punto 12.
16. Calcolo dei livelli di pressione sonora ante-operam, in corrispondenza delle principali configurazioni di attivazione delle sorgenti nelle diverse aree dello stabilimento e/o nelle postazioni di lavoro.
17. Individuazione di possibili strategie di intervento scelte in base agli obiettivi individuati al punto 7.

b) FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

18. Definizione delle tipologie di intervento di mitigazione/correzione acustica, comprendente la scelta dei materiali e sistemi dotati di adeguate prestazioni acustiche, nonché delle modalità realizzative più opportune. Nel caso di connessioni rigide e propagazione di rumore per via strutturale (v. punto 14), si suggerisce di intervenire eliminando le connessioni rigide ed eventualmente ripetendo le misure di vibrazioni per verificare l'efficacia dell'intervento.
19. Fattibilità tecnica: Verifica con il Committente della fattibilità tecnica degli interventi individuati rispetto ai vincoli funzionali e impiantistici, principalmente legati alle caratteristiche dei processi produttivi, alla movimentazione, alla presenza e al funzionamento dei macchinari, ecc.
20. Definizione degli interventi: Dimensionamento geometrico e delle caratteristiche acustiche degli elementi di progetto.
21. Verifica acustica degli interventi: Implementazione nel modello di simulazione acustica delle ipotesi di intervento definite ai punti precedenti e calcolo delle attenuazioni mediante il confronto tra la configurazione ante-operam e le configurazioni post-operam per le diverse ipotesi di progetto.
22. Analisi costo/beneficio: Stima di massima del costo degli interventi e del rapporto costo/beneficio (UNI 11347:2015).
23. Procedure di collaudo acustico: Formulazione delle procedure di collaudo acustico degli interventi in riferimento al rispetto dei valori obiettivo di cui al punto 7.

c) INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

24. Progetto esecutivo: Stesura del progetto che può interessare uno o più dei seguenti aspetti: architettonici/visivi, strutturali, meccanici e impiantistici.

d) DIREZIONE LAVORI

25. Conformità dei sistemi acustici: Verifica della conformità delle caratteristiche prestazionali delle soluzioni e dei materiali proposti dalle Ditte che realizzeranno gli interventi.

26. Controllo dell'esecuzione degli interventi: Verifica in opera della corretta esecuzione degli interventi con predisposizione di eventuali modifiche al progetto che si dovessero rendere necessarie per criticità legate alla fase realizzativa.

e) COLLAUDO ACUSTICO

27. Verifica di efficacia acustica degli interventi mediante una campagna di misure fonometriche in riferimento alla procedura individuata al punto 23.

5.1.2 Ambienti ad uso scolastico, sanitario ed ospedaliero

a) FASE DI ANALISI

A.1 Analisi del quadro conoscitivo

1. Raccolta dei dati: Raccolta dei dati forniti dal committente, dalle amministrazioni locali o da altri tecnici esterni che si sono occupati degli aspetti progettuali dello specifico luogo di lavoro: planimetrie, sezioni, layout, progetto o as built degli impianti tecnici (aria, illuminazione, rilevatori di fumo, antincendio, ecc.), stratigrafie delle partizioni interne ed esterne, particolari tecnologici, ecc.

2. Raccolta informazioni esigenze: valutazione delle caratteristiche specifiche della struttura, comprendente l'identificazione di particolari esigenze igieniche e di sicurezza delle sorgenti e/o dell'ambiente, mediante colloqui con i responsabili di area, il capo reparto, gli addetti al Servizio di Prevenzione e Protezione, gli RLS, ecc.

3. Analisi del layout: finalizzato all'individuazione delle principali criticità acustiche, con particolare riferimento alla prossimità tra ambienti silenziosi e rumorosi (es. per gli ospedali: sala gessi, atrio, uffici con sportelli aperti al pubblico; per le scuole: atrio, palestra, aula di musica), attraversamenti impiantistici tra ambienti, presenza di elementi deboli sulle partizioni interne (prese d'aria, porte, ecc.).

4. Sorgenti acustiche: Individuazione delle principali fonti di rumore (impianti tecnici, macchine dei laboratori, ecc.).

5. Raccolta schede tecniche e manuali d'uso: Reperimento delle schede tecniche e dei manuali d'uso delle principali sorgenti acustiche contenenti i dati di emissione sonora.

6. Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili.

7. Definizione dei descrittori e dei valori obiettivo: Definizione dei descrittori da utilizzare nel caso specifico in riferimento alle tabelle riportate al capitolo 3.2 (es. livelli di pressione sonora nei posti di lavoro, dati riferiti al rumore ambientale e/o all'esposizione, curve di decadimento spaziale del suono, indice di attenuazione

spaziale al raddoppio della distanza, eccesso del livello di pressione sonora, tempi di riverberazione, ecc.) e dei relativi valori obiettivo in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame ed alle esigenze da perseguire nello specifico contesto.

A.2 Fase di analisi operativa - acquisizione dati

8. Misure fonometriche di caratterizzazione dell'ambiente e degli elementi tecnici, utilizzando il più opportuno descrittore in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame (così come dei descrittori dei requisiti acustici passivi TR, $D_{nT,w}$, $D_{2m,nT,w}$, $L'_{n,w}$, LIC, LID, ecc.).
9. Misure del rumore di fondo: Misure fonometriche del rumore di fondo (ambienti non occupati e impianti spenti).
10. Misure del rumore degli impianti meccanici: Misure fonometriche in corrispondenza dell'attivazione degli impianti tecnici (trattamento e ricambio aria, ascensore, ecc.).
11. Misure delle vibrazioni alle strutture: se ritenuto strettamente necessario.
12. Rilievo geometrico e materico: Rilievo geometrico e materico degli ambienti, comprendente tutti gli elementi acusticamente influenti in riferimento alla propagazione sonora. Tra questi, oltre a pavimento, pareti e soffitto, si individuano principalmente le superfici interne di grandi dimensioni che delimitano lo spazio al suo interno (schermi, divisori, ecc.) e gli arredi (scrivanie, sedie, scaffalature, tendaggi, ecc.). Nel caso di edifici esistenti, qualora le informazioni di cui al punto 1 risultassero insufficienti, potrà essere necessario effettuare ulteriori indagini per conoscere la stratigrafia e le modalità realizzative delle partizioni interne ed esterne.
13. Costruzione del modello acustico per la valutazione dei parametri della room acoustic: costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente e validazione attraverso il confronto con i dati di caratterizzazione dell'ambiente misurati di cui al punto 8. Il modello deve essere il più possibile semplificato e contenere elementi con dimensioni caratteristiche non inferiori a 1.5 m; elementi come scaffali, tavoli, piccole macchine, ecc. possono essere trattati collettivamente variando i coefficienti di assorbimento e diffusione delle superfici dove essi giacciono. Ai fini della taratura si suggerisce di lavorare con i coefficienti di assorbimento acustico/diffusione degli elementi poco noti e/o complessi per geometria e materiali. Successiva implementazione nel modello acustico delle sorgenti e dei ricevitori.
14. Modello di calcolo per lo studio degli isolamenti acustici: costruzione del modello di calcolo mediante procedura descritta dalla serie di norme UNI EN ISO 12354, comprendente la definizione delle caratteristiche geometriche e acustiche delle soluzioni tecniche esaminate (es. parete di separazione, parete di facciata, tramezzi e solai), e dei relativi nodi per la valutazione della trasmissione laterale. Nel caso di strutture esistenti, validazione attraverso il confronto con i dati misurati di cui al punto 7.
15. Individuazione di possibili strategie di intervento scelte in base agli obiettivi individuati al punto 8.

b) FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

16. Definizione delle ipotesi di intervento di mitigazione/correzione acustica, comprendente la scelta dei materiali e sistemi dotati di adeguate prestazioni acustiche, nonché delle modalità realizzative più opportune (es. giunto parete di facciata/parete tra ambienti adiacenti, parete tra ambienti adiacenti/solaio, ecc.).
17. Fattibilità tecnica: verifica con il Committente della fattibilità tecnica degli interventi individuati rispetto ai vincoli funzionali ed impiantistici, principalmente legati alle caratteristiche del lavoro, alla movimentazione delle persone, alla presenza e al funzionamento dei macchinari, ecc.
18. Definizione degli interventi: dimensionamento geometrico e caratteristiche acustiche degli elementi di progetto.
19. Verifica acustica degli interventi: Implementazione nei modelli di simulazione acustica di cui ai punti 12 e 13 delle ipotesi di intervento definite ai punti precedenti e calcolo delle attenuazioni dei livelli sonori e/o degli incrementi di isolamento acustico, mediante il confronto tra la configurazione ante-operam e le configurazioni post-operam per le diverse ipotesi di progetto.
20. Analisi costo/beneficio: Stima di massima del costo degli interventi e del rapporto costo/beneficio (UNI 11347:2015).
21. Procedure di collaudo acustico: Formulazione delle procedure di collaudo degli interventi in riferimento al rispetto dei valori obiettivo di cui al punto 8.

c) INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

22. Progetto esecutivo: Stesura del progetto definitivo/esecutivo che può interessare uno o più dei seguenti aspetti: architettonici/visivi, strutturali, meccanici e impiantistici (in riferimento alla tipologia di sistemi presenti).

d) DIREZIONE LAVORI

23. Conformità dei sistemi acustici: Verifica della conformità delle caratteristiche prestazionali delle soluzioni e dei materiali proposti dalle Ditte che realizzeranno gli interventi.
24. Controllo dell'esecuzione degli interventi: Verifica in opera della corretta esecuzione degli interventi ed elaborazione di eventuali modifiche al progetto che si dovessero rendere necessarie per criticità legate alla fase realizzativa.

e) COLLAUDO ACUSTICO

25. Verifica di efficacia acustica degli interventi mediante una campagna di misure fonometriche in riferimento alla procedura individuata al punto 21.

5.1.3 Ambienti ad uso ufficio

a) FASE DI ANALISI

A.1 Analisi del quadro conoscitivo

1. Raccolta dati: Raccolta dei dati forniti dal committente, dalle amministrazioni locali o da altri tecnici esterni che si sono occupati degli aspetti progettuali dello speci-

fico luogo di lavoro: planimetrie, sezioni, layout, progetto o as built degli impianti tecnici (aria, illuminazione, rilevatori di fumo, antincendio, ecc.), stratigrafie delle partizioni interne ed esterne, particolari tecnologici, ecc.

2. Raccolta informazioni delle attività: valutazione delle caratteristiche specifiche dell'azienda comprendenti esigenze igieniche e di sicurezza della sorgente e dell'ambiente, mediante colloqui con i responsabili, gli addetti al Servizio di Prevenzione e Protezione, ecc.
3. Analisi del layout finalizzato all'individuazione delle principali criticità acustiche, con particolare riferimento alla prossimità tra ambienti silenziosi e rumorosi, attraversamenti impiantistici tra ambienti, presenza di elementi deboli sulle partizioni interne (prese d'aria, porte, ecc.).
4. Sorgenti acustiche: Individuazione delle principali fonti di rumore (impianti tecnici, locale server, telefoni, voce, ecc.).
5. Raccolta schede tecniche e manuali d'uso: Reperimento delle schede tecniche e dei manuali d'uso delle principali sorgenti acustiche (impianti tecnici) contenenti i dati di emissione sonora.
6. Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili.
7. Definizione dei descrittori e dei valori obiettivo: Definizione dei descrittori da utilizzare nel caso specifico in riferimento alle tabelle riportate al capitolo 3.2 (es. livelli di pressione sonora nei posti di lavoro, dati riferiti al rumore ambientale e/o all'esposizione, curve di decadimento spaziale del suono, indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, eccesso del livello di pressione sonora, tempi di riverberazione, ecc.) e dei relativi valori obiettivo in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame ed alle esigenze da perseguire nello specifico contesto.

A.2 Fase di analisi operativa - acquisizione dati

8. Misure fonometriche di caratterizzazione dell'ambiente utilizzando il più opportuno descrittore in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame (T_R , $D_{2m,nT,w}$, $D_{nT,w}$, $L'_{n,w}$, DL_2 , DL_f , $D2s$, rd , ecc.).
9. Misure del rumore di fondo: Misure fonometriche del rumore di fondo (ambienti non occupati e impianti spenti).
10. Misure del rumore degli impianti tecnici: Misure fonometriche in corrispondenza dell'attivazione degli impianti tecnici (trattamento e ricambio aria, ascensore, ecc.).
11. Misure delle vibrazioni alle strutture: se ritenuto strettamente necessario.
12. Rilievo geometrico e materico degli ambienti, comprendente tutti gli elementi acusticamente influenti in riferimento alla propagazione sonora. Tra questi, oltre a pavimento, pareti e soffitto, si individuano principalmente le superfici interne di grandi dimensioni che delimitano lo spazio al suo interno (schermi, divisori, ecc.) e gli arredi (scrivanie, sedie, scaffalature, tendaggi, ecc.). Nel caso di edifici esistenti, qualora le informazioni di cui al punto 1 risultassero insufficienti, potrà essere necessario effettuare ulteriori indagini per conoscere la stratigrafia e le modalità realizzative delle partizioni interne ed esterne.

13. Costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente e validazione attraverso il confronto con i dati di caratterizzazione dell'ambiente misurati di cui al punto 8. Il modello deve essere il più possibile semplificato e contenere elementi con dimensioni caratteristiche non inferiori a 1.5 m; elementi come scaffali, tavoli, piccole macchine, ecc. possono essere trattati collettivamente aumentando i coefficienti di assorbimento e diffusione delle superfici dove essi giacciono. Ai fini della taratura si suggerisce di lavorare con i coefficienti di assorbimento acustico/diffusione degli elementi poco noti e/o complessi per geometria e materiali. Successiva implementazione nel modello acustico delle sorgenti e dei ricevitori.
14. Modello di calcolo per lo studio degli isolamenti acustici: Per la valutazione degli isolamenti acustici, costruzione del modello di calcolo mediante procedura descritta dalla serie di norme UNI EN ISO 12354, comprendente la definizione delle caratteristiche geometriche ed acustiche delle soluzioni tecniche esaminate (es. parete di separazione, parete di facciata, tramezzi e solai), e dei relativi nodi per la valutazione della trasmissione laterale. Nel caso di strutture esistenti, validazione attraverso il confronto con i dati misurati di cui al punto 7.
15. Strategie di intervento: Individuazione di possibili strategie di intervento scelte in base agli obiettivi individuati al punto 7.

b) FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

16. Definizione delle ipotesi di intervento di mitigazione/correzione acustica, comprendente la scelta dei materiali e sistemi dotati di adeguate prestazioni acustiche, nonché delle modalità realizzative più opportune (es. giunto parete di facciata/parete tra ambienti adiacenti, parete tra ambienti adiacenti/solaio, ecc.).
17. Fattibilità tecnica: verifica con il Committente della fattibilità tecnica degli interventi individuati rispetto ai vincoli funzionali e impiantistici, principalmente legati alle caratteristiche del lavoro, alla movimentazione delle persone, alla presenza e al funzionamento dei macchinari, ecc.
18. Dimensionamento geometrico e caratteristiche acustiche degli elementi di progetto.
19. Verifica acustica degli interventi: implementazione nei modelli di simulazione acustica di cui ai punti 13 e 14 delle ipotesi di intervento definite ai punti precedenti e calcolo delle attenuazioni mediante il confronto tra la configurazione ante-operam e le configurazioni post-operam per le diverse ipotesi di progetto.
20. Analisi costi/benefici stima di massima del costo degli interventi e del rapporto costo/beneficio (UNI 11347:2015).
21. Procedure di collaudo: formulazione delle procedure di collaudo degli interventi in riferimento al rispetto dei valori obiettivo di cui al punto 7.

c) EVENTUALE FASE DI INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

22. Progetto esecutivo: stesura del progetto definitivo/esecutivo che può interessare uno o più dei seguenti aspetti: architettonici/visivi, strutturali, meccanici e impiantistici (in riferimento alla tipologia di sistemi presenti).

d) FASE DI DIREZIONE LAVORI

23. Conformità dei sistemi acustici: verifica della conformità delle caratteristiche prestazionali delle soluzioni e dei materiali proposti dalle Ditte che realizzeranno gli interventi.
24. Verifica acustica degli interventi: verifica in opera della corretta esecuzione degli interventi ed elaborazione di eventuali modifiche al progetto che si dovessero rendere necessarie per criticità legate alla fase realizzativa.

e) FASE DI COLLAUDO ACUSTICO

25. Verifica di efficacia acustica degli interventi mediante una campagna di misure fonometriche in riferimento alla procedura individuata al punto 21.

5.1.4 Mense, ristoranti, attività commerciali

a) FASE DI ANALISI

A.1 Analisi del quadro conoscitivo

1. Raccolta dati: Raccolta dei dati forniti dal committente, dalle amministrazioni locali o da altri tecnici esterni che si sono occupati degli aspetti progettuali dello specifico luogo di lavoro: planimetrie, sezioni, layout, progetto o as built degli impianti tecnici (aria, illuminazione, rilevatori di fumo, antincendio, ecc.).
2. Raccolta informazioni dell'attività: valutazione delle caratteristiche specifiche della struttura comprendente l'identificazione di particolari esigenze igieniche e di sicurezza delle sorgenti e degli ambienti, mediante colloqui con i responsabili, gli addetti al Servizio di Prevenzione e Protezione, o con i progettisti nel caso di nuova costruzione.
3. Analisi del layout finalizzato all'individuazione delle principali criticità acustiche.
4. Sorgenti acustiche: Individuazione delle principali fonti di rumore (impianti tecnici, cucina, spostamento degli arredi e dei carrelli porta-stoviglie, ecc.) e reperimento delle schede tecniche e dei manuali d'uso delle principali sorgenti acustiche contenenti i dati di emissione sonora.
5. Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili.
6. Definizione dei descrittori e dei valori obiettivo: Definizione dei descrittori da utilizzare nel caso specifico in riferimento alle tabelle riportate al capitolo 3.2 (es. livelli di pressione sonora nei posti di lavoro, dati riferiti al rumore ambientale e/o all'esposizione, curve di decadimento spaziale del suono, l'indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, l'eccesso del livello di pressione sonora, tempi di riverberazione, ecc.) e dei relativi valori obiettivo in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame ed alle esigenze da perseguire nello specifico contesto.

A.2 Fase di analisi operativa - acquisizione dati

7. Misure di caratterizzazione dell'ambiente: Misure fonometriche di caratterizzazione dell'ambiente, utilizzando il più opportuno descrittore in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame (TR, DL₂, DL₁).

8. Misure del rumore di fondo: Misure fonometriche del rumore di fondo (ambienti non occupati e impianti spenti).
 9. Misure del rumore degli impianti: Misure fonometriche in corrispondenza dell'attivazione degli impianti tecnici (trattamento e ricambio aria, ascensore, ecc.).
 10. Misure durante l'attività presente nel locale: Misure fonometriche in corrispondenza della normale attività presente all'interno del locale esaminato.
 11. Misure delle vibrazioni alle strutture: se ritenuto strettamente necessario.
 12. Rilievo geometrico e materico degli ambienti, comprendente tutti gli elementi acusticamente influenti in riferimento alla propagazione sonora. Tra questi, oltre a pavimento, pareti e soffitto, si individuano principalmente le superfici interne di grandi dimensioni che delimitano lo spazio al suo interno (schermi, divisori, ecc.) e gli arredi (scrivanie, sedie, scaffalature, tendaggi, ecc.).
 13. Costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente e validazione attraverso il confronto con i dati di caratterizzazione dell'ambiente misurati di cui al punto 7. Il modello deve essere il più possibile semplificato e contenere elementi con dimensioni caratteristiche non inferiori a 1.5 m; elementi come scaffali, tavoli, piccole macchine, ecc. possono essere trattati collettivamente aumentando i coefficienti di assorbimento e diffusione delle superfici dove essi giacciono. Ai fini della taratura si suggerisce di lavorare con i coefficienti di assorbimento acustico/diffusione degli elementi poco noti e/o complessi per geometria e materiali. Successiva implementazione nel modello acustico delle sorgenti e dei ricevitori. Calcolo dei livelli di pressione sonora in corrispondenza delle principali configurazioni di attivazione delle sorgenti nelle diverse aree della struttura e/o nelle postazioni di lavoro.
 14. Strategie di intervento: Individuazione di possibili strategie di intervento scelte in base agli obiettivi individuati al punto 6.
- b) FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA
15. Definizione delle ipotesi di intervento di mitigazione/correzione acustica, comprendente la scelta dei materiali e sistemi dotati di adeguate prestazioni acustiche.
 16. Fattibilità tecnica: Verifica con il Committente della fattibilità tecnica degli interventi individuati rispetto ai vincoli funzionali ed impiantistici, principalmente legati alle caratteristiche del lavoro, alla movimentazione delle persone, alla presenza e al funzionamento dei macchinari, ecc.
 17. Definizione degli interventi: Definizione del dimensionamento geometrico e delle caratteristiche acustiche degli elementi di progetto.
 18. Verifica dell'efficacia degli interventi mediante l'implementazione nei modelli di simulazione acustica di cui al punto 13 delle ipotesi di intervento definite ai punti precedenti e calcolo delle attenuazioni dei livelli sonori, mediante il confronto tra la configurazione ante-operam e le configurazioni post-operam per le diverse ipotesi di progetto.
 19. Analisi costi/benefici: Stima di massima del costo degli interventi e del rapporto costo/beneficio (UNI 11347:2015).

20. Procedure di collaudo: Formulazione delle procedure di collaudo degli interventi in riferimento al rispetto dei valori obiettivo di cui al punto 6.
- c) EVENTUALE FASE DI INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI
21. Progetto esecutivo: Stesura del progetto definitivo/esecutivo che può interessare uno o più dei seguenti aspetti: architettonici/visivi, strutturali, meccanici e impiantistici (in riferimento alla tipologia di sistemi presenti).
- d) FASE DI DIREZIONE LAVORI
22. Verifica della conformità delle caratteristiche prestazionali delle soluzioni e dei materiali proposti dalle Ditte che realizzeranno gli interventi.
23. Verifica in opera della corretta esecuzione degli interventi ed elaborazione di eventuali modifiche al progetto che si dovessero rendere necessarie per criticità legate alla fase realizzativa.
- e) FASE DI COLLAUDO ACUSTICO
24. Verifica di efficacia acustica degli interventi mediante una campagna di misure fonometriche in riferimento alla procedura individuata al punto 18.

5.1.5 Ambienti per l'intrattenimento

- a) FASE DI ANALISI
- A.1 Analisi del quadro conoscitivo
1. Raccolta dati: Raccolta dei dati forniti dal committente, dalle amministrazioni locali o da altri tecnici esterni che si sono occupati degli aspetti progettuali dello specifico luogo di lavoro: planimetrie, sezioni, layout, progetto o as built degli impianti tecnici (aria, illuminazione, rilevatori di fumo, antincendio, ecc.).
2. Raccolta delle informazioni dell'attività: valutazione delle caratteristiche specifiche della struttura comprendenti l'identificazione di particolari esigenze igieniche e di sicurezza delle sorgenti e degli ambienti, mediante colloqui con i responsabili, gli addetti al Servizio di Prevenzione e Protezione, o con i progettisti nel caso di nuova costruzione.
3. Analisi del layout finalizzato all'individuazione delle principali criticità acustiche.
4. Individuazione delle principali fonti di rumore e reperimento delle schede tecniche e dei manuali d'uso delle principali sorgenti acustiche contenenti i dati di emissione sonora.
5. Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili.
6. Definizione dei descrittori e valori obiettivo: Definizione dei descrittori da utilizzare nel caso specifico in riferimento alle tabelle riportate al capitolo 3.2 (es. livelli di pressione sonora nei posti di lavoro, dati riferiti al rumore ambientale e/o all'esposizione, curve di decadimento spaziale del suono, l'indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, l'eccesso del livello di pressione sonora, tempi di riverberazione, ecc.) e dei relativi valori obiettivo in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame ed alle esigenze da perseguire nello specifico contesto.

A.2 Fase di analisi operativa - acquisizione dati

7. Misure di caratterizzazione dell'ambiente: Misure fonometriche di caratterizzazione dell'ambiente, utilizzando il più opportuno descrittore in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame (L_{Ex} , TR).
8. Misure del rumore di fondo: Misure fonometriche del rumore di fondo (ambienti non occupati e impianti spenti).
9. Misure degli impianti tecnici: Misure fonometriche in corrispondenza dell'attivazione degli impianti tecnici (es. ricambio e trattamento aria, ecc.).
10. Misure delle vibrazioni alle strutture: se ritenuto strettamente necessario.
11. Rilievo geometrico e materico degli ambienti, comprendente tutti gli elementi acusticamente influenti in riferimento alla propagazione sonora. Tra questi, oltre a pavimento, pareti e soffitto, si individuano principalmente le superfici interne di grandi dimensioni che delimitano lo spazio al suo interno (schermi, divisori, ecc.) e gli arredi (tavoli, sedie, tendaggi, ecc.).
12. Costruzione del modello acustico tridimensionale: Per la valutazione dei parametri del punto 7, costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente e validazione attraverso il confronto con i dati di caratterizzazione dell'ambiente misurati di cui al punto 7. Il modello deve essere il più possibile semplificato e contenere elementi con dimensioni caratteristiche non inferiori a 1.5 m; elementi come scaffali, tavoli, piccole macchine, ecc. possono essere trattati collettivamente aumentando i coefficienti di assorbimento e diffusione delle superfici dove essi giacciono. Ai fini della taratura si suggerisce di lavorare con i coefficienti di assorbimento acustico/diffusione degli elementi poco noti e/o complessi per geometria e materiali. Successiva implementazione nel modello acustico delle sorgenti e dei ricevitori e calcolo dei livelli di pressione sonora in corrispondenza della configurazione più critica delle sorgenti (es. massimo numero di elementi dell'orchestra, impianto elettroacustico tarato nel suo normale utilizzo) nelle diverse aree della struttura e/o nelle postazioni di lavoro.
13. Strategie di intervento: Individuazione di possibili strategie di intervento scelte in base agli obiettivi individuati al punto 6.

b) FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

14. Definizione delle ipotesi di intervento di mitigazione/correzione acustica, comprendente la scelta dei materiali e sistemi dotati di adeguate prestazioni acustiche.
15. Fattibilità tecnica: verifica con il Committente della fattibilità tecnica degli interventi individuati rispetto ai vincoli funzionali ed impiantistici, principalmente legati alle caratteristiche del lavoro, alla movimentazione delle persone, ecc.
16. Definizione degli interventi: dimensionamento geometrico e individuazione delle caratteristiche acustiche degli elementi di progetto.
17. Verifica dell'efficacia acustica: implementazione nei modelli di simulazione acustica di cui al punto 12 delle ipotesi di intervento definite ai punti precedenti e calcolo delle attenuazioni dei livelli sonori, mediante il confronto tra la configurazione ante-operam e le configurazioni post-operam per le diverse ipotesi di progetto.

18. Analisi costi/benefici: Stima di massima del costo degli interventi e del rapporto costo/beneficio (UNI 11347:2015).
 19. Procedure di collaudo: Formulazione delle procedure di collaudo degli interventi in riferimento al rispetto dei valori obiettivo di cui al punto 6.
- c) EVENTUALE FASE DI INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI
20. Progetto esecutivo: Stesura del progetto definitivo/esecutivo che può interessare uno o più dei seguenti aspetti: architettonici/visivi, strutturali, meccanici e impiantistici (in riferimento alla tipologia di sistemi presenti).
- d) FASE DI DIREZIONE LAVORO
21. Verifica della conformità delle caratteristiche prestazionali delle soluzioni e dei materiali proposti dalle Ditte che realizzeranno gli interventi.
 22. Verifica in opera della corretta esecuzione degli interventi ed elaborazione di eventuali modifiche al progetto che si dovessero rendere necessarie per criticità legate alla fase realizzativa.
- e) FASE DI COLLAUDO ACUSTICO
23. Verifica di efficacia acustica degli interventi mediante una campagna di misure fonometriche in riferimento alla procedura individuata al punto 18.

5.1.6 Contesti lavorativi soggetti a elevate pressioni sonore

- a) FASE DI ANALISI
- A.1 Analisi del quadro conoscitivo
1. Raccolta dei dati forniti dal committente, dalle amministrazioni locali o da altri tecnici esterni che si sono occupati degli aspetti progettuali dello specifico luogo di lavoro: planimetrie, layout, ecc.
 2. Valutazione delle caratteristiche specifiche della struttura, mediante colloqui con i responsabili, gli addetti al Servizio di Prevenzione e Protezione, o con i progettisti nel caso di nuova costruzione.
 3. Analisi del layout esistente o di progetto finalizzato all'individuazione delle principali criticità acustiche.
 4. Individuazione delle principali fonti di rumore.
 5. Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili.
 6. Identificazione di particolari esigenze igieniche e di sicurezza delle sorgenti e degli ambienti.
 7. Definizione dei descrittori da utilizzare nel caso specifico (es. livelli di pressione sonora nei posti di lavoro, dati riferiti al rumore ambientale e/o all'esposizione, livelli di rumore di picco, ecc.) e dei relativi valori obiettivo in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame ed alle esigenze da perseguire nello specifico contesto.

A.2 Fase di analisi operativa - acquisizione dati

8. Misure fonometriche per la valutazione dell'esposizione al rumore dei lavoratori (L_{EX} , L_C , picco).
9. Calcolo mediante modello di simulazione dei livelli di pressione sonora in corrispondenza della configurazione più critica delle sorgenti nelle postazioni di lavoro.
10. Individuazione di possibili strategie di intervento scelte in base agli obiettivi individuati al punto 7.

b) FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

11. Definizione delle ipotesi di intervento di mitigazione/correzione acustica, comprendente la scelta dei più opportuni dispositivi di protezione individuali, dei materiali e sistemi dotati di adeguate prestazioni acustiche.
12. Verifica con il Committente della fattibilità tecnica degli interventi individuati rispetto ai vincoli funzionali ed impiantistici, principalmente legati alle caratteristiche del lavoro, alla movimentazione delle persone, ecc.
13. Definizione del dimensionamento geometrico e delle caratteristiche acustiche degli elementi di progetto.
14. Implementazione nei modelli di simulazione acustica di cui al punto 9 delle ipotesi di intervento definite ai punti precedenti.
15. Calcolo delle attenuazioni dei livelli sonori, mediante il confronto tra la configurazione ante-operam e le configurazioni post-operam per le diverse ipotesi di progetto.
16. Stima di massima del costo degli interventi e del rapporto costo/beneficio (UNI 11347:2015).
17. Formulazione delle procedure di collaudo degli interventi in riferimento al rispetto dei valori obiettivo di cui al punto 7.

c) EVENTUALE FASE DI INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

18. Stesura del progetto definitivo/esecutivo che può interessare uno o più dei seguenti aspetti: architettonici/visivi, strutturali, meccanici e impiantistici.

d) FASE DI DIREZIONE LAVORI

19. Verifica della conformità delle caratteristiche prestazionali delle soluzioni e dei materiali proposti dalle Ditte che realizzeranno gli interventi.
20. Verifica in opera della corretta esecuzione degli interventi.
21. Elaborazione di eventuali modifiche al progetto che si dovessero rendere necessarie per criticità legate alla fase realizzativa.

e) FASE DI COLLAUDO ACUSTICO

22. Verifica di efficacia acustica degli interventi mediante una campagna di misure fonometriche in riferimento alla procedura individuata al punto 17.

5.2 PROCEDURE DI ANALISI E PROGETTAZIONE SU EDIFICI DI NUOVA REALIZZAZIONE

Nei paragrafi che seguono si riportano le procedure di analisi e progettazione acustica elaborate per gli edifici di nuova realizzazione. In questo caso la base conoscitiva è rappresentata dagli obiettivi e dagli elaborati di progetto (architettonico, impiantistico, layout della produzione, ecc.).

Come già detto, è opportuno che il progetto acustico venga elaborato fin da subito e in accordo a tutti gli altri aspetti della progettazione, in modo da evitare problematiche in fase di progetto e di realizzazione dovute alle interferenze tra le diverse discipline. Il progettista acustico deve elaborare soluzioni integrate con il contesto, al fine di formulare soluzioni architettoniche e funzionali che rispettino il quadro esigenziale nel suo complesso.

5.2.1 Ambienti di lavoro di tipo industriale

a) FASE DI ANALISI

A.1 Analisi del quadro conoscitivo

1. Raccolta dati: definizione insieme al committente e ai tecnici che si occupano degli aspetti progettuali dello specifico luogo di lavoro del quadro esigenziale/prestazionale e raccolta dei dati disponibili: planimetrie, sezioni, layout stabilimento, progetto degli impianti tecnici (aria, illuminazione, rilevatori di fumo, antincendio, ecc.), stratigrafie delle partizioni interne ed esterne, particolari tecnologici, ecc.
2. Sorgenti acustiche: Individuazione delle principali sorgenti acustiche (macchine, impianti tecnici e attrezzature di lavoro) e, se già definiti, eventuali tempi e modalità di funzionamento.
3. Raccolta schede tecniche e manuali d'uso: Reperimento delle schede tecniche e dei manuali d'uso delle principali sorgenti acustiche (impianti tecnici, macchine e attività della produzione) contenenti i dati acustici di emissione sonora. Per ciascuna macchina occorre reperire il riferimento alla norma della procedura per prove di rumorosità utilizzata, oppure, se non esiste una tale procedura per la macchina in esame, occorre la descrizione completa del metodo di misurazione dell'emissione di rumore, della posizione in cui si trova il posto di lavoro, delle condizioni di montaggio e di funzionamento e del ciclo operativo della macchina adottati nel caso specifico: macchina a vuoto o caricata e tipo di lavorazione eseguita con le relative informazioni di dettaglio (ad esempio per le macchine destinate al taglio, occorre conoscere le caratteristiche del provino, la velocità di avanzamento del provino, velocità di rotazione dell'utensile, ecc.). Si suggerisce di richiedere le seguenti informazioni:
 - livelli di pressione sonora nel/nei posto/i di lavoro per bande di frequenza;
 - livelli di potenza sonora per bande di frequenza;
 - informazioni sulla direttività dell'emissione del suono, se rilevante.
4. Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili in riferimento al layout di progetto.

5. Definizione dei descrittori e dei valori obiettivo: Definizione dei descrittori da utilizzare nel caso specifico in riferimento alle tabelle riportate al capitolo 3.2 (es. livelli di pressione sonora nei posti di lavoro, dati riferiti al rumore ambientale e/o all'esposizione, curve di decadimento spaziale del suono, l'indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, l'eccesso del livello di pressione sonora, tempi di riverberazione, ecc.) e dei relativi valori obiettivo in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame e alle esigenze da perseguire nello specifico contesto.

A.2 Fase di analisi operativa - acquisizione dati

6. Costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente rappresentativo dello scenario ante-operam. Il modello deve essere il più possibile semplificato e contenere elementi con dimensioni caratteristiche non inferiori a 1.5 m; elementi come scaffali, tavoli, piccole macchine, ecc. possono essere trattati collettivamente aumentando i coefficienti di assorbimento e diffusione delle superfici dove essi giacciono. Successiva implementazione nel modello acustico delle sorgenti e dei ricevitori.
7. Calcolo dei livelli di pressione sonora in corrispondenza delle principali configurazioni di attivazione delle sorgenti nelle diverse aree dell'ambiente e/o nelle postazioni di lavoro.
8. Calcolo dei livelli di pressione sonora ante-operam, in corrispondenza delle principali configurazioni di attivazione delle sorgenti nelle diverse aree dello stabilimento e/o nelle postazioni di lavoro.
9. Individuazione di possibili strategie di intervento scelte in base agli obiettivi individuati al punto 5.

b) FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

10. Definizione delle tipologie di intervento di mitigazione/correzione acustica, comprendente la scelta dei materiali e sistemi dotati di adeguate prestazioni acustiche, nonché delle modalità realizzative più opportune.
11. Fattibilità tecnica: Verifica con il Committente e/o con i progettisti dell'ambiente di lavoro della fattibilità tecnica degli interventi individuati rispetto ai vincoli funzionali ed impiantistici, principalmente legati alle caratteristiche dei processi produttivi, alla movimentazione, alla presenza e al funzionamento dei macchinari, ecc.
12. Definizione degli interventi: Dimensionamento geometrico e definizione delle caratteristiche acustiche degli elementi di progetto.
13. Verifica acustica degli interventi: Implementazione nel modello di simulazione acustica delle ipotesi di intervento definite ai punti precedenti e calcolo delle attenuazioni mediante il confronto tra la configurazione ante-operam e le configurazioni post-operam per le diverse ipotesi di progetto.
14. Analisi costo/beneficio: Stima di massima del costo degli interventi e analisi costo/beneficio (UNI 11347:2015).
15. Procedure di collaudo acustico: Formulazione delle procedure di collaudo acustico degli interventi in riferimento al rispetto dei valori obiettivo di cui al punto 5.

c) INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

16. Progetto esecutivo: Implementazione degli elementi acustici nel progetto dell'ambiente di lavoro che può interessare anche uno o più dei seguenti aspetti: architettonici/visivi, strutturali, meccanici e impiantistici (in riferimento alla tipologia di sistemi presenti).

d) DIREZIONE LAVORI

17. Conformità dei sistemi acustici: Verifica della conformità delle caratteristiche prestazionali delle soluzioni e dei materiali proposti dalle ditte che realizzeranno gli interventi acustici.
18. Controllo dell'esecuzione degli interventi: Verifica in opera della corretta esecuzione degli interventi con predisposizione di eventuali modifiche al progetto che si dovessero rendere necessarie per criticità legate alla fase realizzativa.

e) COLLAUDO ACUSTICO

19. Verifica di efficacia acustica degli interventi mediante una campagna di misure fonometriche in riferimento alla procedura individuata al punto 14.

5.2.2 Ambienti ad uso scolastico, sanitario ed ospedaliero

a) FASE DI ANALISI

A.1 Analisi del quadro conoscitivo

1. Raccolta dei dati: definizione insieme al committente e ai tecnici che si occupano degli aspetti progettuali dello specifico luogo di lavoro del quadro esigenziale/prestazionale e raccolta dei dati disponibili: planimetrie, sezioni, layout stabilimento, progetto degli impianti tecnici (aria, illuminazione, rilevatori di fumo, antincendio, ecc.), stratigrafie delle partizioni interne ed esterne, particolari tecnologici, ecc.
2. Analisi del layout: di progetto finalizzato all'individuazione delle principali criticità acustiche, con particolare riferimento alla prossimità tra ambienti silenziosi e rumorosi (es. per gli ospedali: sala gessi, atrio, uffici con sportelli aperti al pubblico; per le scuole: atrio, palestra, aula di musica) attraversamenti impiantistici tra ambienti, presenza di elementi deboli sulle partizioni interne (prese d'aria, porte, ecc.).
3. Sorgenti acustiche: individuazione delle principali fonti di rumore (impianti tecnici, macchine dei laboratori, ecc.).
4. Raccolta schede tecniche e manuali d'uso: reperimento delle schede tecniche e dei manuali d'uso delle principali sorgenti acustiche contenenti i dati di emissione sonora.
5. Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili.
6. Definizione dei descrittori e dei valori obiettivo: definizione dei descrittori da utilizzare nel caso specifico in riferimento alle tabelle riportate al capitolo 3.2 (es. livelli di pressione sonora nei posti di lavoro, dati riferiti al rumore ambientale e/o all'esposizione, curve di decadimento spaziale del suono, l'indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, l'eccesso del livello di pressione sonora,

tempi di riverberazione, ecc.) e dei relativi valori obiettivo in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame e alle esigenze da perseguire nello specifico contesto.

A.2 Fase di analisi operativa - acquisizione dati

7. Costruzione del modello acustico per la valutazione dei parametri della room acoustic: costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente. Il modello deve essere il più possibile semplificato e contenere elementi con dimensioni caratteristiche non inferiori a 1.5 m; elementi come scaffali, tavoli, piccole macchine, ecc. possono essere trattati collettivamente aumentando i coefficienti di assorbimento e diffusione delle superfici dove essi giacciono. Successiva implementazione nel modello acustico delle sorgenti e dei ricevitori. Calcolo dei livelli di pressione sonora in corrispondenza delle principali configurazioni di attivazione delle sorgenti nelle diverse aree dell'ambiente e/o nelle postazioni di lavoro.
8. Modello di calcolo per lo studio degli isolamenti acustici: costruzione del modello di calcolo mediante procedura descritta dalla serie di norme UNI EN ISO 12354, comprendente la definizione delle caratteristiche geometriche ed acustiche delle soluzioni tecniche esaminate (es. parete di separazione, parete di facciata, tramezzi e solai), e dei relativi nodi per la valutazione della trasmissione laterale.
9. Individuazione di possibili strategie di intervento scelte in base agli obiettivi individuati al punto 6.

b) PROGETTAZIONE ACUSTICA

10. Definizione delle ipotesi di intervento di mitigazione/correzione acustica, comprendente la scelta dei materiali e sistemi dotati di adeguate prestazioni acustiche, nonché delle modalità realizzative più opportune (es. giunto parete di facciata/parete tra ambienti adiacenti, parete tra ambienti adiacenti/solaio, ecc.).
11. Fattibilità tecnica: verifica con il Committente e con i progettisti della fattibilità tecnica degli interventi individuati rispetto ai vincoli funzionali ed impiantistici, principalmente legati alle caratteristiche del lavoro, alla movimentazione delle persone, alla presenza e al funzionamento dei macchinari, ecc.
12. Definizione degli interventi: dimensionamento geometrico e definizione delle caratteristiche acustiche degli elementi di progetto.
13. Verifica acustica degli interventi: implementazione nei modelli di simulazione acustica di cui ai punti 7 e 8 delle ipotesi di intervento definite ai punti precedenti e calcolo delle attenuazioni dei livelli sonori e/o degli incrementi di isolamento acustico, mediante il confronto tra la configurazione ante-operam e le configurazioni post-operam per le diverse ipotesi di progetto.
14. Analisi costo/beneficio: stima di massima del costo degli interventi e analisi costo/beneficio (UNI 11347:2015).
15. Procedure di collaudo acustico: formulazione delle procedure di collaudo degli interventi in riferimento al rispetto dei valori obiettivo di cui al punto 6.

c) INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

16. Progetto esecutivo: Stesura del progetto definitivo/esecutivo che può interessare uno o più dei seguenti aspetti: architettonici/visivi, strutturali, meccanici e impiantistici (in riferimento alla tipologia di sistemi presenti).

d) DIREZIONE LAVORI

17. Conformità dei sistemi acustici: Verifica della conformità delle caratteristiche prestazionali delle soluzioni e dei materiali proposti dalle Ditte che realizzeranno gli interventi.
18. Controllo dell'esecuzione degli interventi: Verifica in opera della corretta esecuzione degli interventi ed elaborazione di eventuali modifiche al progetto che si dovessero rendere necessarie per criticità legate alla fase realizzativa.

e) COLLAUDO ACUSTICO

19. Verifica di efficacia acustica degli interventi mediante una campagna di misure fonometriche in riferimento alla procedura individuata al punto 15.

5.2.3 Ambienti ad uso ufficio

a) FASE DI ANALISI

A.1 Analisi del quadro conoscitivo

1. Raccolta dati: definizione insieme al committente e ai tecnici che si occupano degli aspetti progettuali dello specifico luogo di lavoro del quadro esigenziale/prestazionale e raccolta dei dati disponibili: planimetrie, sezioni, layout stabilimento, progetto degli impianti tecnici (aria, illuminazione, rilevatori di fumo, antincendio, ecc.), stratigrafie delle partizioni interne ed esterne, particolari tecnologici, ecc.
2. Analisi del layout di progetto finalizzato all'individuazione delle principali criticità acustiche, con particolare riferimento alla prossimità tra ambienti silenziosi e rumorosi, attraversamenti impiantistici tra ambienti, presenza di elementi deboli sulle partizioni interne (prese d'aria, porte, ecc.).
3. Sorgenti acustiche: Individuazione delle principali fonti di rumore (impianti tecnici, locale server, telefoni, voce, ecc.).
4. Raccolta schede tecniche e manuali d'uso: Reperimento delle schede tecniche e dei manuali d'uso delle principali sorgenti acustiche (impianti tecnici) contenenti i dati emissione sonora.
5. Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili.
6. Definizione dei descrittori e dei valori obiettivo: Definizione dei descrittori da utilizzare nel caso specifico in riferimento alle tabelle riportate al capitolo 3.2 (es. livelli di pressione sonora nei posti di lavoro, dati riferiti al rumore ambientale e/o all'esposizione, curve di decadimento spaziale del suono, l'indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, l'eccesso del livello di pressione sonora, tempi di riverberazione, ecc.) e dei relativi valori obiettivo in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame ed alle esigenze da perseguire nello specifico contesto.

A.2 Fase di analisi operativa - acquisizione dati

7. Costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente rappresentativo dello scenario ante-operam. Il modello deve essere il più possibile semplificato e contenere elementi con dimensioni caratteristiche non inferiori a 1.5 m; elementi come scaffali, tavoli, piccole macchine, ecc. possono essere trattati collettivamente aumentando i coefficienti di assorbimento e diffusione delle superfici dove essi giacciono. Successiva implementazione nel modello acustico delle sorgenti e dei ricevitori. Calcolo dei livelli di pressione sonora in corrispondenza delle principali configurazioni di attivazione delle sorgenti nelle diverse aree dell'ambiente e/o nelle postazioni di lavoro.
8. Modello di calcolo per lo studio degli isolamenti acustici: Per la valutazione degli isolamenti acustici, costruzione del modello di calcolo mediante procedura descritta dalla serie di norme UNI EN ISO 12354:2017, comprendente la definizione delle caratteristiche geometriche ed acustiche delle soluzioni tecniche esaminate (es. parete di separazione, parete di facciata, tramezzi e solai), e dei relativi nodi per la valutazione della trasmissione laterale.
9. Strategie di intervento: Individuazione di possibili strategie di intervento scelte in base agli obiettivi individuati al punto 6.

b) FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

10. Definizione delle ipotesi di intervento di mitigazione/correzione acustica, comprendente la scelta dei materiali e sistemi dotati di adeguate prestazioni acustiche, nonché delle modalità realizzative più opportune (es. giunto parete di facciata/parete tra ambienti adiacenti, parete tra ambienti adiacenti/solaio, ecc.).
11. Fattibilità tecnica: verifica con il Committente e con i progettisti dell'ambiente di lavoro della fattibilità tecnica degli interventi individuati rispetto ai vincoli funzionali ed impiantistici, principalmente legati alle caratteristiche del lavoro, alla movimentazione delle persone, alla presenza e al funzionamento dei macchinari, ecc.
12. Dimensionamento geometrico e caratteristiche acustiche degli elementi di progetto.
13. Verifica acustica degli interventi: Implementazione nei modelli di simulazione acustica di cui ai punti 7 e 8 delle ipotesi di intervento definite ai punti precedenti e calcolo delle attenuazioni mediante il confronto tra la configurazione ante-operam e le configurazioni post-operam per le diverse ipotesi di progetto.
14. Analisi costi/benefici Stima di massima del costo degli interventi e del rapporto costo/beneficio (UNI 11347:2015).
15. Procedure di collaudo: Formulazione delle procedure di collaudo degli interventi in riferimento al rispetto dei valori obiettivo di cui al punto 6.

c) EVENTUALE FASE DI INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

16. Progetto esecutivo: Implementazione del progetto acustico con il progetto esecutivo dell'ambiente di lavoro che può interessare uno o più dei seguenti aspetti: architettonici/visivi, strutturali, meccanici e impiantistici (in riferimento alla tipologia di sistemi presenti).

d) FASE DI DIREZIONE LAVORI

17. Conformità dei sistemi acustici: Verifica della conformità delle caratteristiche prestazionali delle soluzioni e dei materiali proposti dalle Ditte che realizzeranno gli interventi.
18. Verifica acustica degli interventi: verifica in opera della corretta esecuzione degli interventi ed elaborazione di eventuali modifiche al progetto che si dovessero rendere necessarie per criticità legate alla fase realizzativa.

e) FASE DI COLLAUDO ACUSTICO

19. Verifica di efficacia acustica degli interventi mediante una campagna di misure fonometriche in riferimento alla procedura individuata al punto 15.

5.2.4 Mense, ristoranti, attività commerciali

a) FASE DI ANALISI

A.1 Analisi del quadro conoscitivo

1. Raccolta dati: definizione insieme al committente e ai tecnici che si occupano degli aspetti progettuali dello specifico luogo di lavoro del quadro esigenziale/prestazionale e raccolta dei dati disponibili: planimetrie, sezioni, layout stabilimento, progetto degli impianti tecnici (aria, illuminazione, rilevatori di fumo, antincendio, ecc.).
2. Analisi del layout: esistente o di progetto finalizzato all'individuazione delle principali criticità acustiche.
3. Sorgenti acustiche: individuazione delle principali fonti di rumore (impianti tecnici, cucina, spostamento degli arredi e dei carrelli porta-stoviglie, ecc.) e reperimento delle schede tecniche e dei manuali d'uso delle principali sorgenti acustiche contenenti i dati di emissione sonora.
4. Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili.
5. Definizione dei descrittori e dei valori obiettivo: Definizione dei descrittori da utilizzare nel caso specifico in riferimento alle tabelle riportate al capitolo 3.2 (es. livelli di pressione sonora nei posti di lavoro, dati riferiti al rumore ambientale e/o all'esposizione, curve di decadimento spaziale del suono, l'indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, l'eccesso del livello di pressione sonora, tempi di riverberazione, ecc.) e dei relativi valori obiettivo in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame ed alle esigenze da perseguire nello specifico contesto.

A.2 Fase di analisi operativa - acquisizione dati

6. Costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente rappresentativo dello scenario ante-operam. Il modello deve essere il più possibile semplificato e contenere elementi con dimensioni caratteristiche non inferiori a 1.5 m; elementi come scaffali, tavoli, piccole macchine, ecc. possono essere trattati collettivamente aumentando i coefficienti di assorbimento e diffusione delle superfici dove essi giacciono. Successiva implementazione nel modello acustico delle sorgenti e dei

ricevitori. Calcolo dei livelli di pressione sonora in corrispondenza delle principali configurazioni di attivazione delle sorgenti nelle diverse aree dell'ambiente e/o nelle postazioni di lavoro.

7. Strategie di intervento: Individuazione di possibili strategie di intervento scelte in base agli obiettivi individuati al punto 5.

b) FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

8. Definizione delle ipotesi di intervento di mitigazione/correzione acustica, comprendente la scelta dei materiali e sistemi dotati di adeguate prestazioni acustiche.
9. Fattibilità tecnica: Verifica con il Committente e/o con i progettisti dell'ambiente di lavoro della fattibilità tecnica degli interventi individuati rispetto ai vincoli funzionali ed impiantistici, principalmente legati alle caratteristiche del lavoro, alla movimentazione delle persone, alla presenza e al funzionamento dei macchinari, ecc.
10. Definizione degli interventi: Definizione del dimensionamento geometrico e delle caratteristiche acustiche degli elementi di progetto.
11. Verifica dell'efficacia degli interventi mediante l'implementazione nel modello di simulazione acustica di cui al punto 6 delle ipotesi di intervento definite ai punti precedenti e calcolo delle attenuazioni dei livelli sonori, mediante il confronto tra la configurazione ante-operam e le configurazioni post-operam per le diverse ipotesi di progetto.
12. Analisi costi/benefici: Stima di massima del costo degli interventi e del rapporto costo/beneficio (UNI 11347:2015).
13. Procedure di collaudo: Formulazione delle procedure di collaudo degli interventi in riferimento al rispetto dei valori obiettivo di cui al punto 5.

c) EVENTUALE FASE DI INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

14. Progetto esecutivo: implementazione delle parti acustiche nel progetto definitivo/esecutivo dell'ambiente di lavoro che può interessare uno o più dei seguenti aspetti: architettonici/visivi, strutturali, meccanici e impiantistici (in riferimento alla tipologia di sistemi presenti).

d) FASE DI DIREZIONE LAVORI

15. Verifica della conformità delle caratteristiche prestazionali delle soluzioni e dei materiali proposti dalle Ditte che realizzeranno gli interventi.
16. Verifica in opera della corretta esecuzione degli interventi ed elaborazione di eventuali modifiche al progetto che si dovessero rendere necessarie per criticità legate alla fase realizzativa.

e) FASE DI COLLAUDO ACUSTICO

17. Verifica di efficacia acustica degli interventi mediante una campagna di misure fonometriche in riferimento alla procedura individuata al punto 13.

5.2.5 Ambienti per l'intrattenimento

a) FASE DI ANALISI

A.1 Analisi del quadro conoscitivo

1. Raccolta dati: definizione insieme al committente e ai tecnici che si occupano degli aspetti progettuali dello specifico luogo di lavoro del quadro esigenziale/prestazionale e raccolta dei dati disponibili: planimetrie, sezioni, layout stabilimento, progetto degli impianti tecnici (aria, illuminazione, rilevatori di fumo, antincendio, ecc.), stratigrafie delle partizioni interne ed esterne, particolari tecnologici, ecc.
2. Analisi del layout di progetto finalizzato all'individuazione delle principali criticità acustiche.
3. Individuazione delle principali fonti di rumore e reperimento delle schede tecniche e dei manuali d'uso delle principali sorgenti acustiche contenenti i dati di emissione sonora.
4. Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili.
5. Definizione dei descrittori e valori obiettivo: Definizione dei descrittori da utilizzare nel caso specifico in riferimento alle tabelle riportate al capitolo 3.2 (es. livelli di pressione sonora nei posti di lavoro, dati riferiti al rumore ambientale e/o all'esposizione, curve di decadimento spaziale del suono, l'indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, l'eccesso del livello di pressione sonora, tempi di riverberazione, ecc.) e dei relativi valori obiettivo in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame ed alle esigenze da perseguire nello specifico contesto.

A.2 Fase di analisi operativa - acquisizione dati

6. Costruzione del modello acustico tridimensionale rappresentativo dello scenario ante-operam. Il modello deve essere il più possibile semplificato e contenere elementi con dimensioni caratteristiche non inferiori a 1.5 m; elementi come scaffali, tavoli, piccole macchine, ecc. possono essere trattati collettivamente aumentando i coefficienti di assorbimento e diffusione delle superfici dove essi giacciono. Successiva implementazione nel modello acustico delle sorgenti e dei ricevitori e calcolo dei livelli di pressione sonora in corrispondenza della configurazione più critica delle sorgenti (es. massimo numero di elementi dell'orchestra, impianto elettroacustico tarato nel suo normale utilizzo) nelle diverse aree della struttura e/o nelle postazioni di lavoro
7. Strategie di intervento: Individuazione di possibili strategie di intervento scelte in base agli obiettivi individuati al punto 5.

b) FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

8. Definizione delle ipotesi di intervento di mitigazione/correzione acustica, comprendente la scelta dei materiali e sistemi dotati di adeguate prestazioni acustiche.
9. Fattibilità tecnica: verifica con il Committente e/o con i progettisti del luogo di lavoro della fattibilità tecnica degli interventi individuati rispetto ai vincoli funzionali ed impiantistici, principalmente legati alle caratteristiche del lavoro, alla movimentazione delle persone, ecc.

10. Definizione degli interventi: dimensionamento geometrico e individuazione delle caratteristiche acustiche degli elementi di progetto.
 11. Verifica dell'efficacia acustica: implementazione nei modelli di simulazione acustica di cui al punto 6 delle ipotesi di intervento definite ai punti precedenti e calcolo delle attenuazioni dei livelli sonori, mediante il confronto tra la configurazione ante-operam e le configurazioni post-operam per le diverse ipotesi di progetto.
 12. Analisi costi/benefici: Stima di massima del costo degli interventi e del rapporto costo/beneficio (UNI 11347:2015).
 13. Procedure di collaudo: Formulazione delle procedure di collaudo degli interventi in riferimento al rispetto dei valori obiettivo di cui al punto 5.
- c) EVENTUALE FASE DI INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI
14. Progetto esecutivo: implementazione delle parti acustiche nel progetto definitivo/esecutivo dell'ambiente di lavoro che può interessare uno o più dei seguenti aspetti: architettonici/visivi, strutturali, meccanici e impiantistici (in riferimento alla tipologia di sistemi presenti).
- d) FASE DI DIREZIONE LAVORI
15. Verifica della conformità delle caratteristiche prestazionali delle soluzioni e dei materiali proposti dalle Ditte che realizzeranno gli interventi.
 16. Verifica in opera della corretta esecuzione degli interventi ed elaborazione di eventuali modifiche al progetto che si dovessero rendere necessarie per criticità legate alla fase realizzativa.
- e) FASE DI COLLAUDO ACUSTICO
17. Verifica di efficacia acustica degli interventi mediante una campagna di misure fonometriche in riferimento alla procedura individuata al punto 13.

5.2.6 Contesti lavorativi soggetti ad elevate pressioni sonore

- a) FASE DI ANALISI
- A.1 Analisi del quadro conoscitivo
1. Raccolta dei dati forniti dal committente, dalle amministrazioni locali o da altri tecnici esterni che si sono occupati degli aspetti progettuali dello specifico luogo di lavoro: planimetrie, layout, ecc.
 2. Valutazione delle caratteristiche specifiche della struttura mediante colloqui con i progettisti.
 3. Analisi del layout di progetto finalizzato all'individuazione delle principali criticità acustiche.
 4. Individuazione delle principali fonti di rumore.
 5. Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili.
 6. Identificazione di particolari esigenze igieniche e di sicurezza delle sorgenti e degli ambienti.
 7. Definizione dei descrittori da utilizzare nel caso specifico in riferimento alle tabelle

riportate al capitolo 3.2 (es. livelli di pressione sonora nei posti di lavoro, dati riferiti al rumore ambientale e/o all'esposizione, livelli di rumore di picco, ecc.) e dei relativi valori obiettivo in riferimento alla specifica categoria di ambiente in esame ed alle esigenze da perseguire nello specifico contesto.

A.2 Fase di analisi operativa - acquisizione dati

8. Calcolo mediante modello di simulazione dei livelli di pressione sonora in corrispondenza della configurazione più critica delle sorgenti nelle postazioni di lavoro.
9. Individuazione di possibili strategie di intervento scelte in base agli obiettivi individuati al punto 7.

b) FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

10. Definizione delle ipotesi di intervento di mitigazione/correzione acustica, comprendente la scelta dei più opportuni dispositivi di protezione individuali, dei materiali e sistemi dotati di adeguate prestazioni acustiche.
11. Verifica con il Committente della fattibilità tecnica degli interventi individuati rispetto ai vincoli funzionali ed impiantistici, principalmente legati alle caratteristiche del lavoro, alla movimentazione delle persone, ecc.
12. Definizione del dimensionamento geometrico e delle caratteristiche acustiche degli elementi di progetto.
13. Implementazione nei modelli di simulazione acustica di cui al punto 8 delle ipotesi di intervento definite ai punti precedenti.
14. Calcolo delle attenuazioni dei livelli sonori, mediante il confronto tra la configurazione ante-operam e le configurazioni post-operam per le diverse ipotesi di progetto.
15. Stima di massima del costo degli interventi e del rapporto costo/beneficio (UNI 11347:2015).
16. Formulazione delle procedure di collaudo degli interventi in riferimento al rispetto dei valori obiettivo di cui al punto 7.

c) EVENTUALE FASE DI INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

17. Implementazione degli elementi acustici nel progetto definitivo/esecutivo che può interessare uno o più dei seguenti aspetti: architettonici/visivi, strutturali, meccanici e impiantistici (in riferimento alla tipologia di sistemi presenti).

d) FASE DI DIREZIONE LAVORI

18. Verifica della conformità delle caratteristiche prestazionali delle soluzioni e dei materiali proposti dalle Ditte che realizzeranno gli interventi.
19. Verifica in opera della corretta esecuzione degli interventi.
20. Elaborazione di eventuali modifiche al progetto che si dovessero rendere necessarie per criticità legate alla fase realizzativa.

e) FASE DI COLLAUDO ACUSTICO

21. Verifica di efficacia acustica degli interventi mediante una campagna di misure fonometriche in riferimento alla procedura individuata al punto 16.

6 PRESENTAZIONE SCHEDE CASI STUDIO

Nell'allegato che segue sono stati raccolti casi studio aventi caratteristiche rispondenti ad attività di lavoro che si svolgono in ambienti aventi condizioni di campo non diffuso e attività in ambienti più contenuti, ma ritenuti significativi ai fini dello studio acustico degli ambienti di lavoro. I casi studio proposti sono i seguenti:

- ① - Stabilimento 1: comparto 'autovetture e componentistica'.
- ② - Stabilimento 2: comparto 'autovetture e componentistica'.
- ③ - Stabilimento 3: comparto 'carpenteria meccanica'.
- ④ - Stabilimento 4: comparto 'carpenteria meccanica'.
- ⑤ - Mensa aziendale.
- ⑥ - Impianti tecnici di uno stabilimento industriale.
- ⑦ - Campo tiro a volo.

Per ciascun caso studio, sono state predisposte apposite schede illustrative delle attività svolte sistematizzate e organizzate secondo le cinque principali fasi di lavoro elaborate nel manuale operativo ed illustrate in dettaglio nel capitolo 5:

- a) Analisi
- b) Progettazione acustica
- c) Ingegnerizzazione degli interventi
- d) Direzione dei lavori
- e) Collaudo acustico

La complessità di alcuni dei casi studio proposti ha consentito di dettagliare alcune delle sotto-fasi individuate nel capitolo 7, con particolare riferimento alla fase di analisi dell'esistente e individuazione delle possibili interferenze per la verifica della fattibilità tecnica degli interventi individuati rispetto ai vincoli funzionali ed impiantistici, principalmente legati alle caratteristiche dei processi produttivi, alla movimentazione, alla presenza, al funzionamento dei macchinari, ecc. Di seguito si riporta una breve sintesi che illustra ciascun caso studio.

Il caso studio ① è relativo a un ambiente adibito alla realizzazione e lavorazione di parti di autovetture, avente volume pari a circa 80.000 m³ e altezza media 12 m. L'ambiente è privo di compartimentazioni o separazioni interne, con eccezione dei numerosi cabinati ivi presenti. Si tratta di un contesto semi-riverberante in cui le sorgenti sonore sono distribuite in maniera uniforme rispetto a tutte le aree dello stabilimento. Tale condizione determina una propagazione sonora pressoché diffusa in tutte le aree. Al fine di ridurre la rumorosità diffusa nello stabilimento, sono state proposte due tipo-

logie distinte di intervento: ambientale, attraverso l'installazione di sistemi fono-assorbenti a soffitto e a parete, e di completa segregazione delle sorgenti risultate essere le più rumorose e impattanti, in quanto collocate in posizione baricentrica rispetto all'ambiente. Per questo specifico caso studio, oltre all'analisi e alla progettazione acustica, è stata svolta la progettazione esecutiva e la Direzione dei lavori. I lavori, infine, sono stati collaudati mostrando un sostanziale accordo con le previsioni di progetto.

Il caso studio ② è relativo a un ambiente adibito alla lavorazione e assemblaggio di materiale per lo più a base legno, avente un volume pari a circa 248.000 m³ e altezza media 10 m, dove si svolgono le varie attività della produzione, organizzate in aree funzionali distinte, tra le quali non sono presenti elementi di separazione nello stato attuale. Si tratta di un contesto multi-sorgente per tipologia (macchine, attrezzature e impianti tecnici), in cui le sorgenti sonore della produzione e impiantistiche acusticamente più rilevanti sono collocate in una specifica zona dello stabilimento. Le principali sorgenti di rumore presenti sono relative alle attività della produzione e all'impianto di aspirazione polveri e immissione aria di reintegro. Si tratta di uno stabilimento con un interno completamente aperto e uno scenario di propagazione in cui alcune aree particolarmente rumorose impattano grandi aree altrimenti silenziose. I risultati di tutte le indagini effettuate hanno evidenziato come il contributo del rumore prodotto dagli impianti tecnologici presenti nello stabilimento sia particolarmente rilevante anche rispetto al contributo delle specifiche attività di lavoro: ciò avviene perché gli impianti tecnici sono distribuiti e collocati ad un'altezza tale da farli risultare impattanti su zone molto ampie, rispetto alle macchine della produzione che sono invece concentrate in una specifica area dello stabilimento e posizionate in maniera più schermata. Ciò premesso, la strategia di mitigazione acustica ha riguardato interventi specifici sulle sorgenti impiantistiche (principalmente riscaldamento e aspirazione polveri) e segregazione dell'area in cui sono concentrate le macchine a controllo numerico, risultate come maggiormente impattanti. Sono stati realizzati e collaudati acusticamente gli interventi sulle sorgenti impiantistiche, mentre il beneficio acustico degli interventi di compartimentazione dell'area macchine a controllo numerico, non ancora realizzati, sono stati al momento simulati numericamente.

Il caso studio ③ riguarda lo spostamento di un'area lavoro relativa ad un'officina meccanica, all'interno di un capannone industriale più ampio e dalla pianta completamente aperta, in cui sono presenti attività di lavoro non rumorose. Nell'area officina, oggetto di spostamento e prossima a un blocco uffici, sono presenti sorgenti sonore uniformemente distribuite, costituite da postazioni di lavoro con utensili manuali, alcuni dei quali dotati di un sistema centralizzato di aspirazione polveri. Ciò determina una propagazione sonora pressoché omogenea in tutte le aree contigue dello stabilimento ove si svolgono attività molto meno rumorose. L'ambiente in cui viene spostata l'area officina in esame è caratterizzata da un volume complessivo pari a circa 28.000 m³ e altezza media 13 m. I risultati delle indagini acustiche hanno mostrato livelli elevati di rumorosità nelle zone circostanti l'area in esame. A partire dall'obiettivo di progetto di evitare l'utilizzo dei

DPI agli operatori delle zone circostanti la nuova area officina, sono state proposte e valutate acusticamente diverse soluzioni di progetto che prevedono la chiusura parziale e/o totale dell'area della nuova officina mediante pannellature fonoisolanti e fono-assorbenti. Il beneficio acustico degli interventi è stato simulato numericamente, in quanto gli interventi risultano al momento in corso di realizzazione.

Il caso studio ④ è relativo ad uno stabilimento suddiviso in sei locali distinti in cui si svolgono diverse attività di lavoro e sono presenti sorgenti e postazioni di lavoro di diverso tipo. L'indagine acustica ha riguardato la valutazione del beneficio in termini di riduzione dei livelli sonori presenti nei suddetti locali, in relazione alle nuove ipotesi di layout. Complessivamente gli ambienti oggetto di studio hanno un volume pari a circa 2.700 m³ e altezza media 6 m. I risultati delle indagini acustiche hanno mostrato livelli elevati di rumorosità in molte zone, pertanto sono state proposte e valutate acusticamente diverse soluzioni di progetto che prevedono interventi di segregazione delle sorgenti maggiormente rumorose e interventi ambientali. In particolare, gli obiettivi principali dello studio hanno riguardato la mitigazione della rumorosità prodotta dalla sorgente acusticamente più critica valutando sia un intervento di segregazione della sorgente nell'attuale collocazione, che uno spostamento della sorgente in un'altra area. È stato valutato inoltre il contributo nella riduzione della rumorosità ambientale corrispondente ad alcune ipotesi di trattamenti ambientali. Il beneficio acustico di tali interventi è stato simulato numericamente, in quanto gli interventi risultano al momento in corso di realizzazione.

Il caso studio ⑤ è relativo a una mensa aziendale che si struttura attraverso un ambiente principale adibito al consumo dei pasti e altre aree dedicate alla distribuzione dei pasti, parzialmente confinate dalla prima, attraverso pareti vetrate a tutta altezza. L'ambiente complessivamente ha un volume pari a circa 7.500 m³, un'altezza di circa 3.4 m ed è destinato ad ospitare fino a 960 persone contemporaneamente per ciascuno dei tre turni in cui è organizzata la pausa pranzo dei lavoratori. È presente un trattamento acustico a soffitto che consiste in un controsoffitto fono-assorbente in pannelli modulari in lana di legno mineralizzata. A partire dai risultati delle indagini fonometriche effettuate sono state ipotizzate le seguenti strategie di intervento: interventi sull'ambiente volti alla riduzione della riverberazione alle medie e alte frequenze e suddivisione del volume principale della mensa in più piccoli compartimenti mediante la realizzazione di schermi acustici fissi. La peculiarità dello studio ha riguardato le diverse modalità di valutazione del beneficio acustico degli interventi, prendendo in considerazione diversi parametri, tra cui il numero di occupanti presenti nelle singole aree. Il beneficio acustico degli interventi è stato simulato numericamente, in quanto gli interventi non risultano al momento ancora realizzati.

Il caso studio ⑥ è relativo ad un caso studio di 'Analisi acustica e bonifica di impianti tecnici di uno stabilimento industriale'. A partire dallo studio effettuato nel caso studio ②, vengono riportate nella scheda ⑥ i dettagli relativi all'analisi acustica svolta sugli impianti tecnici e sulla relativa progettazione degli interventi di riduzione del rumore.

Infine, il caso studio 7 è relativo all'analisi e alla progettazione acustica in un campo di tiro a volo. In particolare, sono state svolte misure fonometriche presso una pedana olimpica su una griglia di postazioni costruita a varie distanze dal tiratore all'interno e dietro la piazzola per valutare l'esposizione dei lavoratori, ma anche frontalmente al tiratore per avere indicazioni circa le caratteristiche di direttività dello sparo.

ALLEGATI - SCHEDE CASI STUDIO

INFORMAZIONI GENERALI

Classificazione dell'ambiente:	1. Ambiente industriale
Comparto	Autovetture e componentistica
Periodo di riferimento:	2015-2018
Tipologia intervento di bonifica:	Correzione ambientale e segregazione di sorgente
Superficie dell'ambiente (m ²):	6.600
Volume dell'ambiente (m ³):	80.000
Altezza media dell'ambiente (m):	12

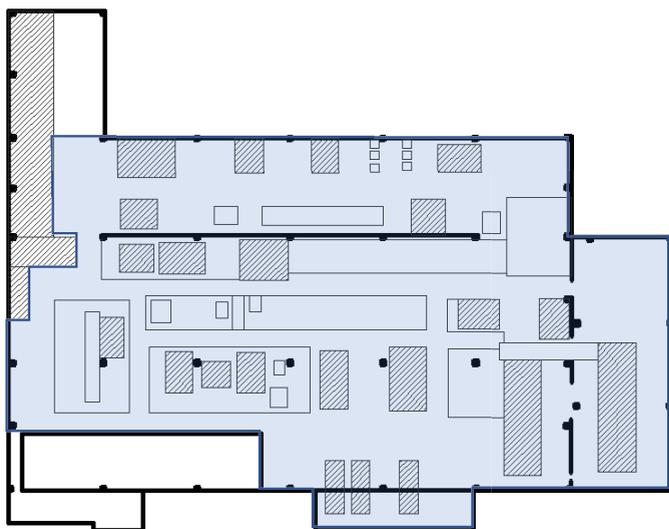
FASE DI ANALISI

A.1 ANALISI DEL QUADRO CONOSCITIVO

Raccolta dati

- Piante, prospetti e sezioni dello stabilimento;
- Layout dello stabilimento con indicazione delle aree di produzione;
- Progetto degli impianti di condizionamento e trattamento aria;
- Valutazione rischio esposizione al rumore dei lavoratori (d.lgs. 81/2008).

Raccolta informazioni dei processi produttivi



Descrizione:

Lo stabilimento si configura attraverso un ambiente principale di tipo aperto, dove si svolgono le varie attività della produzione.

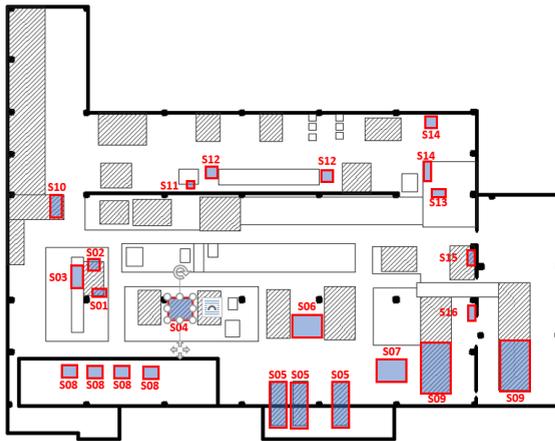
L'ambiente è costituito da una struttura portante in pilastri e tegoli in c.a. prefabbricato, mentre le pareti perimetrali e la copertura sono realizzati in pannelli sandwich. Il principale ingresso della luce naturale avviene attraverso i lucernari e gli evacuatori di fumo posti in copertura. La pavimentazione è in cemento liscio.

Si tratta di un contesto multi-sorgente, per tipologia e collocazione all'interno del layout; ciò determina una propagazione sonora pressoché diffusa in tutte le aree dello stabilimento.

Per la particolarità delle attività lavorative che vi si svolgono, il Committente ha richiesto particolare attenzione alle caratteristiche antincendio degli elementi acustici da installare all'interno dello stabilimento.

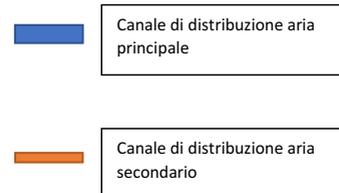
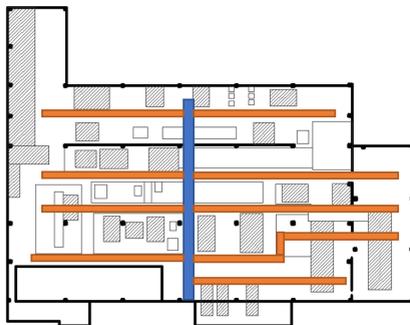
Sorgenti acustiche

Sorgenti della produzione



Codice sorgente	Denominazione	Modalità di funzionamento
S01	Pompa di calore	Continuo
S02	Pressa idraulica	Discontinuo
S03	Estrazione stampi 1	Discontinuo
S04	Chiusura/apertura vasca stampi 1	Discontinuo
S05	motore autoclave	Continuo
S06	Chiusura/apertura vasca stampi 2	Discontinuo
S07	Estrazione stampi 2	Discontinuo
S08	Postazione preassemblaggio	Discontinuo
S09	Macchina utensile	Continuo (durante la lavorazione)
S10	Foratura	Discontinuo
S11	Pompa del vuoto 1	Continuo
S12	Apertura stampi	Discontinuo
S13	soffiatrice	Discontinuo
S14	Sabbiatrice	Continuo
S15	Pompa del vuoto 2	Continuo
S16	Pompa del vuoto 3	Continuo

Impianti tecnici



Raccolta schede tecniche e manuali d'uso

Non è stata fornita da parte del committente alcuna scheda tecnica o manuale d'uso.

Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili

In considerazione dell'obiettivo dello studio, ovvero la riduzione del rumore all'interno di tutte le aree produttive, non si è tenuto conto delle specifiche postazioni di lavoro.

Definizione dei descrittori e dei valori obiettivo

Descrittori utilizzati per lo studio acustico:

- Tempo di Riverberazione, T_{30} (s), relativo alle diverse aree dello stabilimento aventi caratteristiche similari.
- Indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, DL_2 dB(A), lungo alcune direttrici ritenute significative al fine di descrivere l'andamento dell'energia riverberata all'interno dell'ambiente.
- Livelli di pressione sonora prodotti dalle sorgenti in punti noti dello stabilimento (L_{Aeq} [dB(A)]).
- Rumore degli impianti di trattamento dell'aria in assenza di attività della produzione (L_{Aeq} [dB(A)]).

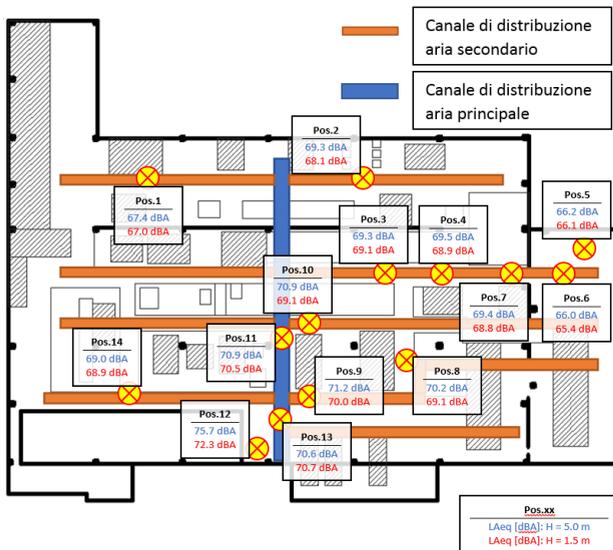
Individuazione degli obiettivi:

- Riduzione della riverberazione dello stabilimento, con particolare attenzione alle aree dove sono presenti le sorgenti più rumorose (in accordo con il committente non è stato fissato uno specifico valore del TR o del DL_2 da raggiungere). Gli interventi da realizzare sono stati selezionati mediante un'analisi costo/beneficio delle diverse ipotesi di progetto.
- Riduzione della rumorosità diffusa pari a 3 dBA (percepibile ad orecchio).

Misure di rumore di fondo

Non sono state effettuate misure di rumore di fondo in quanto ritenute poco significative.

Misure degli impianti tecnici



Descrizione:

L'impianto di distribuzione per il trattamento e condizionamento dell'aria è costituito da una canalizzazione principale di diametro 120 cm, posizionato ad un'altezza da terra pari a 7.3 m, che attraversa lo stabilimento in maniera trasversale e da cinque canalizzazioni secondarie di diametro 60 cm e altezza dal pavimento di 6 m che attraversano lo stabilimento nel senso longitudinale. Le relative macchine sono collocate in ambiente esterno, pertanto ininfluenti ai fini del presente studio.

Su ciascuno dei cabinati presenti all'interno dello stabilimento è collocata inoltre una UTA a servizio dello specifico cabinato, funzionante al momento delle misure, salvo diversa indicazione. Le misure fonometriche sono state effettuate in ciascuna postazione di misura a due altezze differenti: in prossimità dell'impianto (altezza minima dal pavimento 5 m) e a 1.2 m dal pavimento.

I risultati delle misure fonometriche effettuate mostrano livelli abbastanza omogenei in tutto l'ambiente, variabili da un minimo di 65 dB(A) nelle zone più periferiche, fino a un massimo di 71 dB(A) nelle zone centrali.

Mappatura acustica dello stabilimento

Non è stata effettuata la mappatura acustica dello stabilimento.

Analisi delle vibrazioni

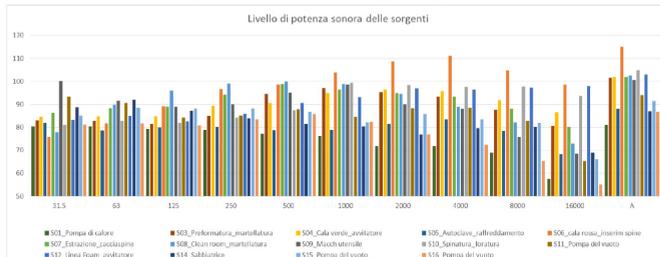
Dall'analisi delle sorgenti individuate al punto 3, è emerso che la principale componente delle emissioni è costituita da rumore aereo, pertanto non è stata effettuata alcuna indagine sulla propagazione delle vibrazioni.

Caratterizzazione acustica delle sorgenti

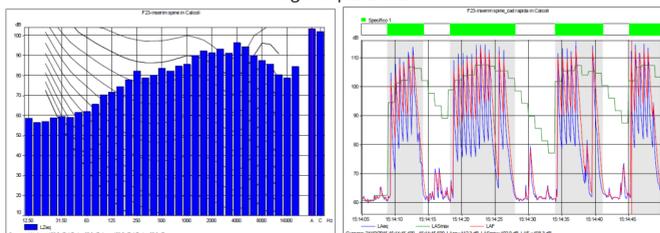
Livelli di potenza sonora delle sorgenti oggetto dello studio, in cui sono indicati in rosso le sorgenti caratterizzate da un livello globale di potenza sonora ponderato A maggiore di 100 dB(A), in giallo compreso tra 90 e 100 dB(A) e in verde inferiore a 90 dB(A).

SORGENTI	L _A (dB)	Frequenza (Hz)											A
		31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000		
S01 - Pompa di calore	80.4	80.5	79.3	78.9	77.2	76.1	71.9	71.9	69	57.6		81	
S03 - Preformatura marciatura	83.1	82.9	81.54	84.9	94.6	97.1	95.2	93.3	87.7	80.6		101.9	
S04 - Cala verde avvitatore	84.5	84.7	84.7	89.4	90.6	94.9	96.5	95.7	91.7	86.5		101.9	
S05 - Autoclave raffreddamento	82.1	78.6	79.9	80.1	78.8	78.9	81.5	83.3	78.3	68.2		88.0	
S06 - Cala rossa inserimento sapie	75.8	81.6	89.2	96.6	98.7	103.8	108.7	111.1	104.7	98.6		115.0	
S07 - Estrazione cacciaspina	86.3	88.4	88.9	94.2	98.9	96.4	94.9	93.3	88	80.1		102.0	
S08 - Clean Room marciatura	77.8	89.9	95.9	99	99.9	98.9	94.5	88.9	82.2	72.8		102.7	
S09a - Macchina utensile	100.2	91.6	88.8	90.1	95.1	98.7	90	88.0	75.8	68.5		100.5	
S10 - Spinatura foratura	80.9	82.8	82.0	84.3	87.3	99.4	98.3	97.7	97.8	93.7		104.8	
S11 - Pompa del vuoto	93.3	90.6	84.3	85.1	87.8	84.6	88.4	88.5	82.8	65.3		94.1	
S12 - Linea Foam avvitatore	83.2	84.9	82.5	85.9	90.5	93.1	96.9	96.5	97.2	98.0		103.0	
S14 - Sabbiatrica	88.7	91.9	87.2	83.9	81.5	80.5	76.9	79.6	80.1	68.9		86.9	
S15 - Pompa del vuoto	85.1	88.6	88.1	88.1	86.8	82.1	85.8	83.4	82	66.2		91.5	
S16 - Pompa del vuoto	81.2	81.6	80.7	83.4	85.8	82.4	76.9	72.4	65.3	55.1		86.8	

Livelli di potenza sonora delle sorgenti oggetto di studio



Spettro in frequenza e storia temporale della misura effettuata in prossimità della sorgente più critica



Descrizione:

Il livello di potenza sonora e la direttività delle sorgenti oggetto di indagine sono stati misurati in accordo alla metodologia riportata nella norma UNI EN ISO 3744, a partire da misure fonometriche effettuate in prossimità della sorgente in normali condizioni di utilizzo.

Il fattore di correzione ambientale K_2 , che tiene conto della riverberazione dell'ambiente in cui si trovano le sorgenti, è stato determinato attraverso misure di tempo di riverberazione di cui al punto 7.

I dati relativi alla geometria della superficie fittizia di misurazione, ai livelli di pressione sonora misurati in tutti i punti di tale superficie e ai tempi di riverberazione dello stabilimento sono stati implementati nel modulo UNI 3744 presente nel software di simulazione acustica impiegato. Il risultato di questo calcolo è costituito dalla determinazione del livello di potenza sonora e della direttività in frequenza.

Al fine di valutare le condizioni di massima rumorosità presenti nello stabilimento, in generale per la caratterizzazione acustica delle sorgenti che producono rumore discontinuo come martello, avvitatore, trapano, ecc., non è stata considerata l'intera misura, ma la sola parte relativa ai momenti effettivi di rumore prodotto da tali sorgenti. Ciò permette cautelativamente di valutare i livelli di rumore massimi presenti nello stabilimento al momento dell'attivazione delle sorgenti, generalmente più elevati di circa 3 dB(A) rispetto a considerare il livello medio relativo alla durata della lavorazione.

In generale le sorgenti più rumorose producono livelli di rumore con contenuto energetico particolarmente elevato alle medie ed alte frequenze.

Misure di vibrazione

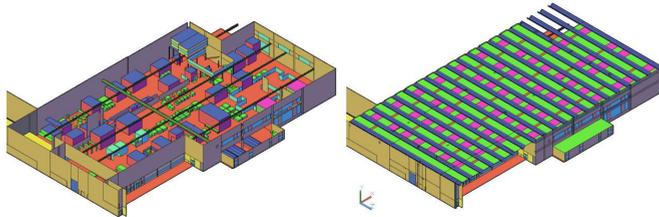
Si veda il punto 11.

Rilievo geometrico e materico dello stabilimento

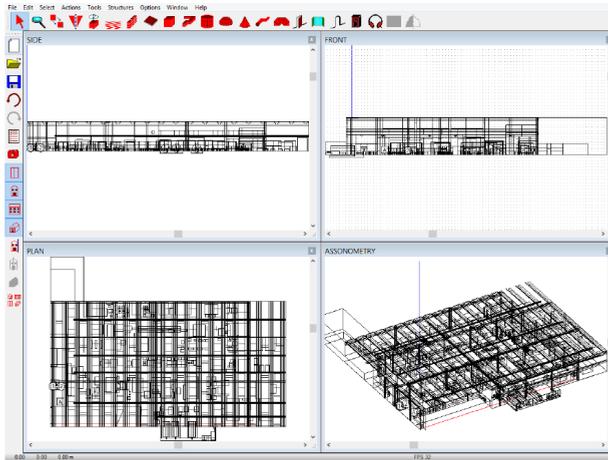
La geometria dello stabilimento è stata ricostruita a partire dagli elaborati grafici forniti dal committente, previa verifica a campione di alcuni elementi in esso presenti. È stato inoltre effettuato un rilievo geometrico e materico dei principali elementi di arredo (aree di stoccaggio dei materiali, canali dell'aria, ecc.), dei cabinati e delle sorgenti caratterizzate da un volume acusticamente significativo.

Costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente

Modello tridimensionale dello stabilimento

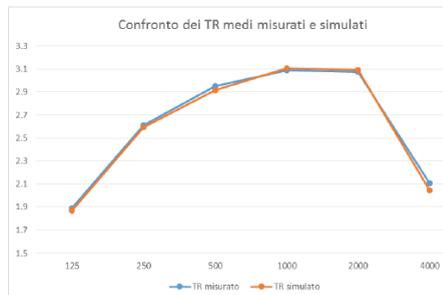


Implementazione del modello tridimensionale dello stabilimento all'interno del software di simulazione acustica



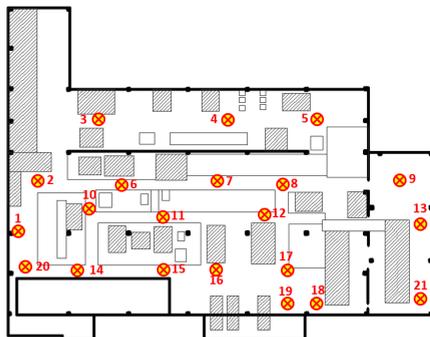
La validazione del modello acustico è stata effettuata mediante il confronto dei tempi di riverberazione medi misurati e simulati in ciascuna delle 9 aree in cui è stato idealmente suddiviso lo stabilimento. Nel grafico sotto riportato è presente il confronto tra il T_{30} medio misurato e simulato nell'intera area di produzione. Il modello è stato ritenuto validato in quanto le differenze medie tra i valori misurati e simulati sono risultate al di sotto del 5%.

TR medio LABORATORIO						
	125	250	500	1000	2000	4000
Area 1 - TR medio misurato	2.12	2.3	2.67	2.87	2.81	1.88
Area 1 - TR medio simulato	1.41	1.93	2.22	2.35	2.39	1.53
Area 2 - TR medio misurato	1.68	2.77	2.91	3.09	3.06	2.08
Area 2 - TR medio simulato	1.87	2.64	2.94	3.13	3.11	2.02
Area 3 - TR medio misurato	2.3	2.75	3.07	3.17	3.22	2.19
Area 3 - TR medio simulato	1.91	2.63	2.94	3.09	3.12	2.11
Area 4 - TR medio misurato	2.02	2.71	3.57	3.3	3.25	2.24
Area 4 - TR medio simulato	1.85	2.61	2.95	3.17	3.15	2.06
Area 5 - TR medio misurato	1.33	2.43	2.78	2.88	2.76	1.95
Area 5 - TR medio simulato	1.59	2.17	2.36	2.44	2.43	1.65
Area 6 - TR medio misurato	1.67	2.65	2.76	3.06	3.12	2.03
Area 6 - TR medio simulato	1.89	2.63	2.99	3.23	3.18	2.05
Area 7 - TR medio misurato	2.16	2.57	2.74	2.85	2.96	2.14
Area 7 - TR medio simulato	1.85	2.64	3.04	3.27	3.24	2.17
Area 8 - TR medio misurato	1.58	2.67	3.18	3.29	3.34	2.27
Area 8 - TR medio simulato	2.26	3.09	3.45	3.69	3.65	2.44
Area 9 - TR medio misurato	2.13	2.65	2.91	3.28	3.17	2.16
Area 9 - TR medio simulato	2.19	3	3.37	3.6	3.56	2.39
TR medio simulato	1.87	2.59	2.92	3.11	3.09	2.05
TR medio misurato	1.89	2.61	2.95	3.09	3.08	2.10
differenze [s]	-0.02	-0.02	-0.04	0.02	0.02	-0.06



Calcolo dei livelli di pressione sonora ante-operam

Collocazione dei punti in cui è stato effettuato il calcolo dei livelli sonori



Livelli di pressione sonora simulati in corrispondenza della Configurazione 1

Ricevitori	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Lin	A
1	59.9	61.2	50.6	57.8	60.7	66.2	71.3	69.4	57.1	40	74.9	75.3
2	65.2	67.1	56.6	64.2	67	72.3	77.2	74.9	61.4	42.4	80.7	81.1
3	63.6	65.8	54.4	62.1	64.6	69.8	74.6	72	58	39.4	78.2	78.4
4	66.9	69.3	59	66.7	69.3	74.4	79.1	77.4	64.9	49.8	82.9	83.2
5	65.9	68.4	57.8	65	67.5	72.6	77.2	75.1	62.2	46.1	81	81.2
6	66	68.1	58.1	65.4	68	73.3	78.1	76.5	64.3	50.1	81.9	82.3
7	68.4	70.9	61.8	69.2	71.7	76.8	81.6	80.9	70.3	58.4	85.7	86.1
8	68.8	71.3	62.3	68.9	71.1	75.8	80.5	78.9	66.9	52.9	84.4	84.7
9	68.4	71.1	65.1	68.8	70	73.4	78	75.8	63.6	46.5	82.2	82.1
10	67.9	69.8	60.8	67	69.4	74.6	79.4	77.5	64.9	48.5	83.2	83.5
11	66.6	68.8	59	66.7	69.2	74.5	79.4	78.3	66.7	52.7	83.3	83.7
12	68.3	70.8	61.8	68.8	71	75.8	80.5	79.1	67	52.7	84.4	84.8
13	68.4	71.2	64.7	68.8	70.3	73.8	78.7	76.9	65.2	50.3	82.8	82.8
14	67.1	69.1	59.2	66.8	69.5	74.9	79.9	78.9	68.2	55.5	83.8	84.3
15	66.8	69	60.1	68.3	70.9	76.2	81.1	80.7	70.8	60.4	85.2	85.7
16	67.9	70.5	65.6	73.5	75.8	81	86.1	87.3	79.6	71.8	91	91.6
17	68.9	71.4	63.4	70.7	73.2	78.1	82.9	82.4	72	60.5	87	87.5
18	66.3	68.7	60.7	67.6	70	74.7	79.3	78.5	67.6	54.6	83.4	83.9
19	67.9	70.4	62.5	69.9	72.4	77.4	82.2	81.8	72.1	62	86.4	86.9
20	64.7	66.6	56.2	64.3	67.1	72.5	77.6	76.3	64.8	49.6	81.4	81.8
21	67.2	69	60.1	65.7	67.9	72	76.9	75	62	45.1	80.9	81

Livelli globali di pressione sonora in dBA simulati in corrispondenza della Configurazione 1 (i colori si riferiscono ai valori indicati dal d.lgs 81/2008)



Descrizione:

Sono state definite alcune configurazioni tipo di attivazione delle sorgenti al fine di valutare, per ciascuna di queste, i livelli di rumore caratteristici delle diverse aree e stabilire le eventuali criticità acustiche in termini di individuazione delle sorgenti acustiche più impattanti e delle aree dello stabilimento maggiormente impattate.

Per brevità si riportano i risultati della configurazione 1 che corrisponde all'attivazione della sorgente S06 e delle sorgenti a funzionamento continuo (S01, S11, S15, S16).

I risultati delle simulazioni acustiche in termini di livelli di pressione sonora rappresentano i livelli prodotti dalle sorgenti considerate e non tengono conto del livello di rumore prodotto dagli impianti, variabile tra 65 e 70 dB(A). Tale assunzione non riduce comunque l'incertezza nelle aree in cui le simulazioni riportano livelli maggiori di 80 dB(A).

Nella presente parte della scheda si riportano i risultati relativi alla configurazione che prevede l'attivazione della sorgente più rumorosa e baricentrica rispetto al layout dello stabilimento.

I risultati delle simulazioni acustiche mostrano come, in corrispondenza dell'attività più rumorosa della sorgente S06, i livelli di pressione sonora simulati risultino superiori a 85 dB(A) nelle postazioni più prossime alla sorgente, restando comunque sempre superiori a 80 dB(A) in gran parte dello stabilimento, con eccezione delle postazioni più lontane dalla sorgente e nella zona ufficio dove comunque i livelli sono pari a 75 dB(A).

Individuazione di possibili strategie di intervento

I risultati delle analisi mostrano come lo stabilimento risulti essere riverberante soprattutto alle frequenze medie, pertanto sono ipotizzabili, unitamente ad interventi di segregazione delle sorgenti più impattanti, interventi sull'ambiente volti alla riduzione della riverberazione alle medie e alte frequenze. Questi ultimi risultano certamente efficaci in quanto i sistemi fono-assorbenti normalmente utilizzati per la correzione acustica degli ambienti interni (controsoffitti, baffles e pannelli a parete) sono caratterizzati da un assorbimento acustico più elevato proprio alle frequenze medie e alte. A ciò si aggiunga che le sorgenti sonore risultate maggiormente rumorose hanno un contenuto energetico particolarmente elevato proprio alle medie ed alte frequenze.

FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

Definizione delle tipologie di intervento

In accordo alle strategie di intervento condivise con il Committente, sono state valutate acusticamente le seguenti tipologie di intervento.

- Interventi ambientali:
 - a) baffles fono-assorbenti a soffitto;
 - b) rivestimenti fono-assorbenti a parete;
 - c) controsoffitti fono-assorbenti;
 - d) pannelli fono-assorbenti verticali.
- Interventi sulle sorgenti:
 - e) Segregazione sorgente S06 mediante realizzazione di cappottatura fonoisolante e fono-assorbente (lato sorgente).

Fattibilità tecnica

I principali vincoli riscontrati per la realizzazione degli interventi ipotizzati riguardano:

- impianto antincendio: in particolare, si è dovuto tenere conto della presenza dei dispositivi laser di rilevazione fumi posti sulle pareti dello stabilimento in prossimità della copertura, dell'impianto di spegnimento realizzato mediante sprinkler posizionati in corrispondenza dei pannelli sandwich di copertura e delle caratteristiche di reazione al fuoco particolarmente stringenti dei materiali proposti;
- scarsa resistenza meccanica dei pannelli di tamponamento e della copertura al fine di sostenere i sovraccarichi determinati dagli elementi acustici di progetto;
- elevati standard richiesti per la pulizia e manutenzione nel tempo;
- elevata resistenza meccanica contro il danneggiamento da impatto accidentale.

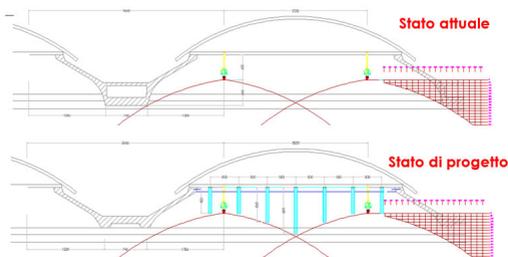
Definizione degli interventi

a) Baffles fono-assorbenti a soffitto

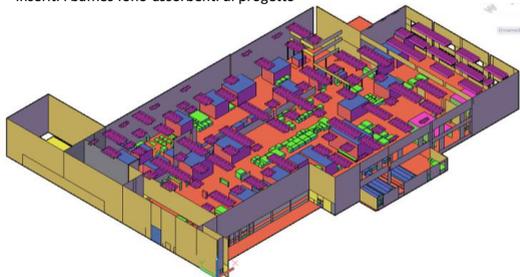
La soluzione proposta riguarda l'installazione di baffles fono-assorbenti a soffitto, distribuiti in maniera uniforme nello stabilimento, nelle seguenti quantità e dimensioni:

- n. 365 Baffles fono-assorbenti tipo 1 dimensioni 1000x800x66 mm;
- n. 730 Baffles fono-assorbenti tipo 2 dimensioni 1000x600x66 mm;
- n. 1460 Baffles fono-assorbenti tipo 3 dimensioni 1000x450x66 mm.

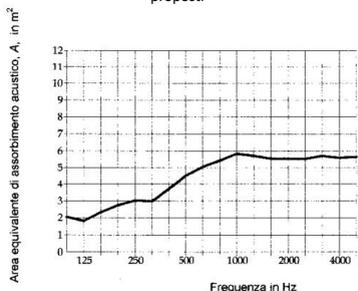
Sezione di una campata tipo nello stato attuale e di progetto



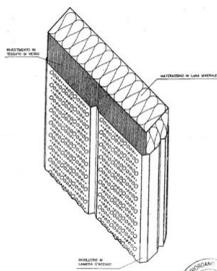
Veduta assonometrica del modello acustico dello stabilimento in cui sono stati inseriti i baffles fono-assorbenti di progetto



Coefficienti di assorbimento acustico dei prodotti proposti



Sezione tipo del pannello proposto per la realizzazione dei baffles



Descrizione dei pannelli proposti

Descrizione dell'elemento:

Baffles fonoassorbente tipo Tecnoacustica Tecson, o prodotti similari, composto da:

- Involucro in lamiera di acciaio zincato preverniciato, spessore 0.5 mm, forato (fori di sei diametri diversi per una percentuale di foratura pari a 33.6%);
- Coibentazione con materiale in lana minerale, spessore 60 mm e densità 80 Kg/m³, rivestito superficialmente con tessuto di vetro per evitare lo spolverio delle fibre).

Caratteristiche tecniche:

- Massa superficiale: 9 kg/m²
- Spessore: 66 mm
- Classe di reazione al fuoco: A1

b) Rivestimento fono-assorbente a parete

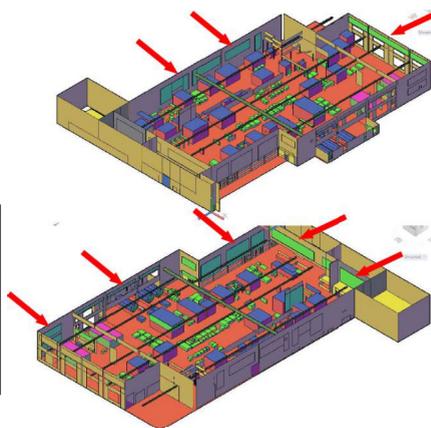
La soluzione proposta prevede l'installazione di una superficie di rivestimento fono-assorbente a parete complessivamente pari a circa 1000 m², posizionato a un'altezza minima da terra pari a 3 metri. Il rivestimento proposto è costituito da:

- involucro posteriore in lamiera piena di acciaio zincata, verniciata, spessore nominale 0,8 mm;
- coibentazione interna realizzata con materassino in fibra di poliestere, spessore 60 mm e densità 40 Kg/m³;
- mascherina anteriore in lamiera forata di acciaio zincata verniciata, spessore nominale 0,8 mm, diametro dei fori variabile da 2,5 a 7 mm, percentuale di foratura 34%;
- tappi di chiusura delle testate del pannello in plastica rigida, fissati meccanicamente al pannello modulare.

Le caratteristiche tecniche dei pannelli assorbenti sono massa superficiale pari a 20 kg/m², spessore del pannello pari a 95 mm e classe di reazione al fuoco A1.



Coefficienti di assorbimento acustico del rivestimento proposti



Tipologia del rivestimento fono-assorbente proposto



c) Controsoffitti fono-assorbenti

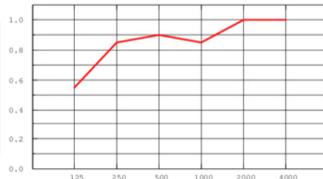
Il progetto ha previsto la realizzazione di un controsoffitto fono-assorbente in due aree specifiche dello stabilimento in cui c'è permanenza di persone sia per attività di lavoro poco rumorose che di relax:

- area di ingresso: controsoffitto in pannelli fono-assorbenti modulari ispezionabili di superficie pari a circa 210 m² installati ad altezze variabili da 2.9 m a 4.6 m dal pavimento;
- area qualità: controsoffitto in pannelli fono-assorbenti modulari ispezionabili di superficie pari a circa 120 m² installati a 3 m dal pavimento.

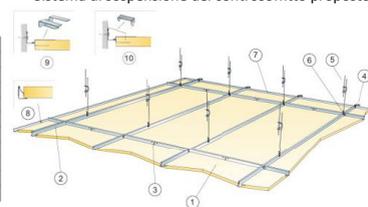
I pannelli sono costituiti da lana di vetro ad alta densità con tecnologia 3RD, legante 100% vegetale, spessore 20 mm ad elevato assorbimento acustico (α_w 0.90). La superficie a vista è verniciata con pittura acustica microporosa, il retro del pannello è ricoperto con fibra di vetro e i bordi del pannello verniciati. Il sistema proposto è del tipo a griglia semi-nascosta ed è utilizzato per evidenziare una direzione dell'ambiente.



Coefficienti di assorbimento acustico del prodotto proposto



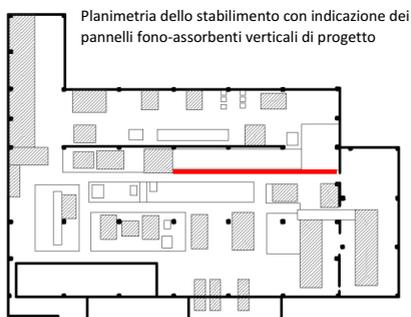
Sistema di sospensione del controsoffitto proposto



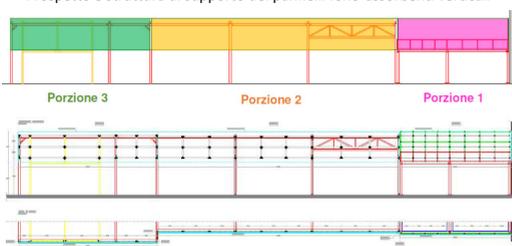
d) Pannelli fono-assorbenti verticali

Il progetto ha previsto l'installazione di pannelli fono-assorbenti verticali di altezza 3 m e spessore 80 mm, posizionati ad una quota netta dal pavimento di 3 m, lungo una delle direttrici longitudinali di passaggio dello stabilimento. I pannelli proposti sono disposti su quattro quadri differenti aventi rispettivamente le seguenti lunghezze: 10.95 m (porzione 1), 23.62 m (porzione 2), 13.78 m (porzione 3) e 1 m (porzione 4, tra 2 e 3).

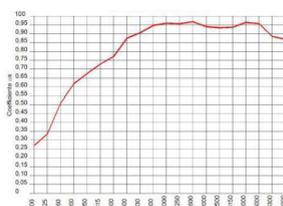
I pannelli sono costituiti da fibra di poliestere termolegata ignifuga con struttura interna di irrigidimento nascosta in alluminio e rivestimento della faccia a vista e dei bordi perimetrali con tessuto bielastico stretch di poliestere ignifugo (classe 1 di reazione al fuoco), su cui sono state riprodotte le stampe digitali fotografiche scelte dal Committente.



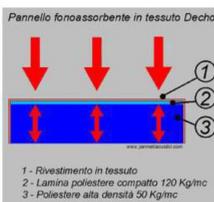
Prospetto e struttura di supporto dei pannelli fono-assorbenti verticali



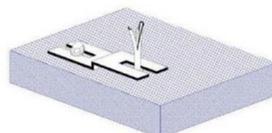
Coefficienti di assorbimento acustico del controsoffitto proposto



Tipologia del rivestimento fono-assorbente proposto



Sistema di fissaggio del pannello proposto



e) Segregazione sorgente S06

Il progetto ha previsto la segregazione totale dell'area relativa alla sorgente S06, attraverso la realizzazione di un cabinato silente di dimensioni pari a circa 6.5 (l) x 10 (p) x 5 (h) m. Il cabinato è composto dai seguenti elementi:

- pareti e copertura realizzati mediante pannelli di spessore 120 mm e massa superficiale 25 kg/m², composti da lamiera piena di spessore 1,0 mm, materassino in lana minerale di spessore 80 mm e densità 90 Kg/m³ rivestito superficialmente con tessuto in velo vetro, lamiera forata di spessore 1,0 mm, diametri nominali dei fori 2,5-7 mm e percentuale di foratura 34%, indice del potere fonoisolante $R_w = 36$ dB;
- controsoffitto interno realizzato mediante pannelli fono-assorbenti aventi $\alpha_w=0.9$;
- n. 2 porte antincendio metalliche ad una anta, certificata con resistenza al fuoco 120 minuti, montata con telaio angolare in acciaio alta resistenza su 3 lati e distanziale inferiore, spessore totale anta 63 mm in doppia lamiera di acciaio zincata finitura preverniciata con pelabile, pacco di isolamento interno antincendio, guarnizione autoespandente perimetrale tra ante e telaio, 2 rostri di tenuta, maniglia antinfurtivistica, indice del potere fonoisolante $R_w = 37$ dB;
- n. 2 saracinesche insonorizzate ad apertura verticale con profili cavi in alluminio riempiti con telo in PVC da 5 mm e materassino in schiuma PU da 30 mm, indice del potere fonoisolante $R_w = 31$ dB.

Coefficienti di assorbimento acustico degli elementi di progetto

Elemento tecnico	Potere fonoisolante R (dB)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Pannello verticale/pannello orizzontale	16.0	22.7	35.0	42.7	44.5	44.0
Porta	21.3	33.2	35.5	38.2	38.1	42.5
Saracinesca	15.3	27.2	29.5	32.2	32.1	36.5

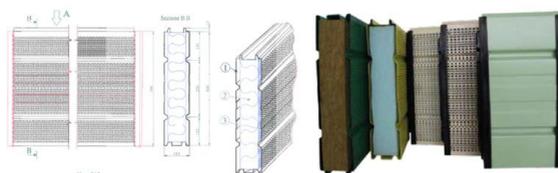
Tipologia di porta e saracinesca di progetto



Posizionamento in assonometria del cabinato silente di progetto



Tipologia di pannelli fonoisolanti/fono-assorbenti per le pareti e la copertura del cabinato

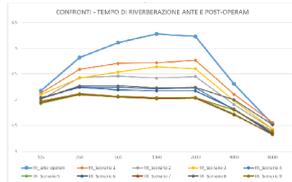
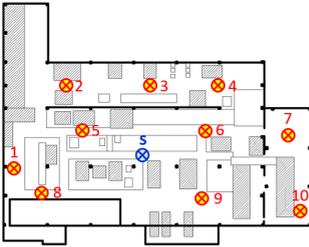


Verifica acustica di progetto degli interventi

Tempo di riverberazione T_{30} (s)

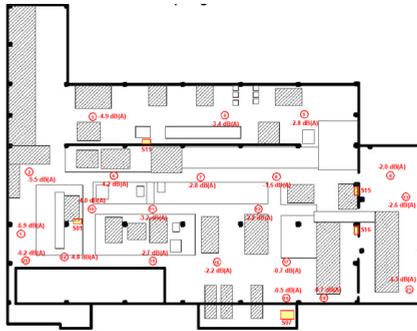
Posizionamento della sorgente e dei ricevitori per il calcolo del T_{30} ante e post-operam

Risultati del T_{30} simulato per ogni scenario di progetto e confronto con il T_{30} ante-operam



Posizionamento delle sorgenti e dei ricevitori e indicazione delle attenuazioni sonore in corrispondenza dello scenario di progetto A8 (sorgenti attive S07, S01, S11, S15, S16)

SCENARIO A8					
Ricev.	Attenuazione	Ante operam		Post operam	
	dB (A)	L _{Aeq} (dB(A))	L _{Aeq} (dB(A))	L _{Aeq} (dB(A))	L _{Aeq} (dB(A))
1	-5.9	64	57.1	68.9	69.2
2	-5.5	69.3	63.8	68.9	70.1
3	-4.9	67.9	63	67	68.5
4	-3.4	72.8	69.4	68.1	71.8
5	-2.8	72.1	69.3	68.1	71.8
6	-4.2	70.8	66.6	69.1	71.0
7	-2.8	74.3	71.5	69.1	73.5
8	-1.6	75.6	74	69.1	75.2
9	-2	75.3	73.3	66.1	74.1
10	-4	72.2	68.2	69.1	71.7
11	-3.2	71.7	68.5	70.5	72.6
12	-2.2	74.2	72	69.1	73.8
13	-2.6	75.3	72.7	66.1	73.6
14	-4.8	71.7	66.9	68.9	71.0
15	-2.7	73.5	70.8	70	73.4
16	-2.2	76	73.8	70	75.3
17	-0.7	79.5	78.8	69.1	79.2
18	-0.7	78.8	78.1	69.1	78.6
19	-0.5	80.4	79.9	69.1	80.2
20	-6.2	68.9	62.7	68.9	69.8
21	-4.3	73.7	69.4	66.1	71.1



Descrizione:

L'efficacia acustica degli interventi proposti a livello di simulazione acustica è stata quantificata in termini di riduzione del T_{30} e di attenuazione dei livelli sonori post-operam rispetto a quelli ante-operam.

Ai fini della valutazione della riduzione del T_{30} e dei livelli sonori, sono stati valutati i seguenti scenari di progetto:

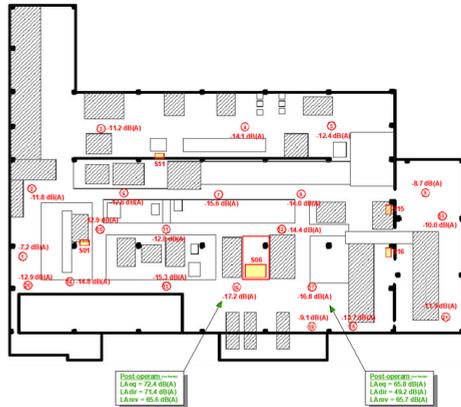
- Scenario A1: baffles ipotesi A
- Scenario A2: baffles ipotesi B
- Scenario A3: Pannelli fono-assorbenti a parete
- Scenario A4: A1+A3
- Scenario A5: A2+A3
- Scenario A6: A1+A3+controsoffitto ingresso+baffles area qualità
- Scenario A7: A2+A3+controsoffitto ingresso+baffles area qualità
- Scenario A8: A1+A3+controsoffitto ingresso
- Scenario A9: A2+A3+controsoffitto ingresso
- Scenario SA3: segregazione della sorgente S06 mediante cabinato silente

In corrispondenza di ciascuna delle ipotesi di progetto, sopra elencati, sono state valutate separatamente due configurazioni di sorgenti, scelte tra quelle maggiormente impattanti: sorgente S06 e sorgente S07, in combinazione con le sorgenti con funzionamento a ciclo continuo.

Al fine di stimare un livello post-operam 'confrontabile' con quello effettivamente presente nello stabilimento, il livello post-operam stimato è stato corretto aggiungendo a questo il contributo del rumore prodotto dall'impianto dell'aria (somma energetica tra i livelli di rumore degli scenari post-operam ed i livelli di rumore di fondo misurati), cautelativamente non attenuato per gli interventi di correzione

Posizionamento delle sorgenti e dei ricevitori e indicazione delle attenuazioni sonore in corrispondenza dello scenario di progetto che prevede la segregazione della sorgente S06, congiuntamente agli interventi ambientali dello scenario A8 (sorgenti attive S06, S01, S11, S15, S16)

SCENARIO SA3				
Ricev.	Numero di Fondo	Ante operam con fondo	Post operam con fondo	Attenuazione con fondo
	LAeq [dB(A)]	LAeq [dB(A)]	LAeq [dB(A)]	LAeq [dB(A)]
1	68.9	76.2	68.9	-7.2
2	68.9	81.4	69.5	-11.8
3	67	78.7	67.5	-11.2
4	68.1	83.3	69.2	-14.1
5	68.1	81.4	69.1	-12.4
6	69.1	82.5	69.9	-12.6
7	69.1	86.2	70.6	-15.6
8	69.1	84.8	70.8	-14.0
9	66.1	82.2	73.5	-8.7
10	69.1	83.7	70.8	-12.9
11	70.5	83.9	71.2	-12.8
12	69.1	84.9	70.6	-14.4
13	66.1	82.9	72.9	-10.0
14	68.9	84.4	69.7	-14.8
15	70	85.8	70.5	-15.3
16	70	91.6	74.4	-17.2
17	69.1	87.6	70.8	-16.8
18	69.1	84.0	70.3	-13.7
19	69.1	87.0	77.9	-9.1
20	68.9	82.0	69.1	-11.9
21	66.1	81.1	69.3	-11.9



Risultati delle simulazioni

L'intervento relativo all'installazione dei pannelli a parete risulta efficace solo in combinazione con quello dei baffles, infatti, in corrispondenza di entrambe le ipotesi di baffles, i punti in cui l'attenuazione supera 3 dB(A) sono oltre il 50% dei punti indagati. L'intervento di installazione del controsoffitto fono-assorbente in corrispondenza dell'intradosso del solaio di ingresso risulta particolarmente efficace per tutta questa zona in cui sono state calcolate attenuazioni variabili tra 4 e 6 dB(A).

Le configurazioni di progetto ottimizzate risultano essere la A8 e A9, ovvero la combinazione dei baffles fono-assorbenti in copertura, dei pannelli a parete e del controsoffitto nella zona di ingresso. Questi interventi determinano attenuazioni acustiche percepibili su oltre il 50% dei punti considerati (3 dBA), con valori fino a 7 dB(A).

Nello scenario combinato, ovvero laddove venga mitigata sia la componente diretta che riverberata del rumore, le attenuazioni risultano significative in ogni punto dello stabilimento, soprattutto in corrispondenza di sorgenti particolarmente rumorose come la S06. Per quest'ultima infatti, si hanno attenuazioni variabili da un minimo di 7 dB(A) a un massimo di 17 dB(A) nelle zone più lontane dalla sorgente oggetto di segregazione.

Analisi costo/beneficio

Non è stata realizzata una stima del costo/beneficio, ma una stima di massima del costo degli interventi ambientali proposti.

INTERVENTI AMBIENTALI						
Intervento	Unità di misura	Quantità	Prezzo listino (€)	Prezzo scontato (€)	Posa in opera (€)	Costo totale (€)
Baffles FONOASSORBENTI IPOTESI A ("cortiti")						
Baffles fonoassorbenti tipo 1						
dimensioni 1000x800x66 mm	cad	365	-	43.6	10	€ 19.564,00
Baffles fonoassorbenti tipo 2						
dimensioni 1000x600x66 mm	cad	730	-	35.6	10	€ 33.288,00
Baffles fonoassorbenti tipo 3						
dimensioni 1000x450x66 mm	cad	1460	-	24.6	10	€ 50.516,00
Baffles fonoassorbenti tipo 4						
dimensioni 1000x960x66 mm	cad	344	-	39.6	10	€ 17.062,40
TOTALE INTERVENTO						€ 120,430.40
Baffles FONOASSORBENTI IPOTESI B ("lunghi")						
Baffles fonoassorbenti tipo 5						
dimensioni 1000x1250x66 mm	cad	560	-	52.1	10	€ 34,776,00
Baffles fonoassorbenti tipo 4						
dimensioni 1000x960x66 mm	cad	2584	-	39.6	10	€ 128,166,40
TOTALE INTERVENTO						€ 162,942.40
CONTROSOFFITTO ZONA INGRESSO						
Controsoffitto zona ingresso comprensivi di struttura di sospensione	mq	230	65	54.4	20	€ 17.112,00
TOTALE INTERVENTO						€ 17,112.00
PANNELLI FONOASSORBENTI A PARETE						
Pannelli fonoassorbenti fissati a parete comprensivi di struttura di fissaggio a parete	mq	1000	-	65	20	€ 85,000,00
TOTALE INTERVENTO						€ 85,000.00
TOTALE INTERVENTI IPOTESI A						€ 222,542.40
TOTALE INTERVENTI IPOTESI B						€ 265,054.40

Procedure di collaudo acustico

Per il caso studio in esame si è stabilito di eseguire una campagna di misurazioni fonometriche da effettuarsi dopo l'esecuzione dei lavori a seconda che vengano realizzati prima gli interventi ambientali o le segregazioni delle sorgenti, e una campagna di misure fonometriche in cui si valuta il beneficio dovuto alla combinazione degli interventi (ambientali+segregazioni).

La procedura ha lo scopo di valutare la reale efficacia degli interventi, in termini di riduzione dei livelli sonori presenti nello stabilimento, in condizioni controllate, in condizioni controllate, ovvero in corrispondenza di determinate configurazioni di sorgenti attive. Ciò risulta necessario vista la complessità e la non ripetibilità delle differenti condizioni di utilizzo delle sorgenti stesse all'interno dello stabilimento.

a) MISURE PER LA VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA ACUSTICA DEGLI INTERVENTI AMBIENTALI

- Misure del T_{30} e del DL_2 nelle aree e lungo le direttrici ritenute significative ai fini della verifica dell'efficacia acustica degli interventi.
- Misure dei livelli di pressione sonora relativi all'attivazione di una sorgente campione posizionata in sorgente S07 in corrispondenza dei punti in cui è stata effettuata l'analisi ante-operam.
- Misure post-operam in corrispondenza della condizione degli impianti accesi, nei punti in cui sono state effettuate le misure ante-operam del rumore di fondo.

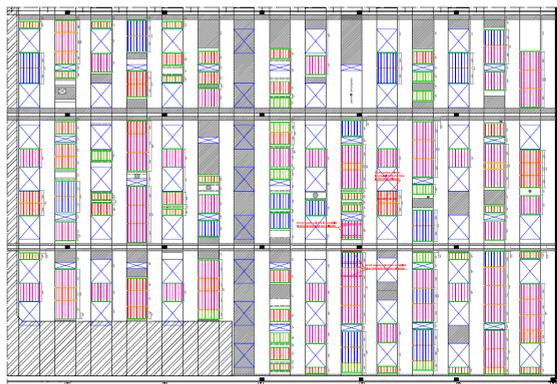
b) MISURE PER LA VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA ACUSTICA DEGLI INTERVENTI DI SEGREGAZIONI

- Misure dei livelli di pressione sonora relativi all'attivazione della sorgente S06 in corrispondenza dei punti in cui è stata effettuata l'analisi ante-operam.

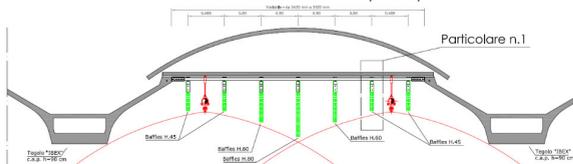
INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

Progetto esecutivo

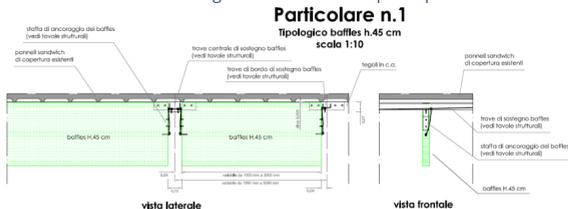
Posizionamento dei baffles in planimetria



Sezione trasversale di una campata tipo



Sezione longitudinale di una campata tipo



Descrizione:

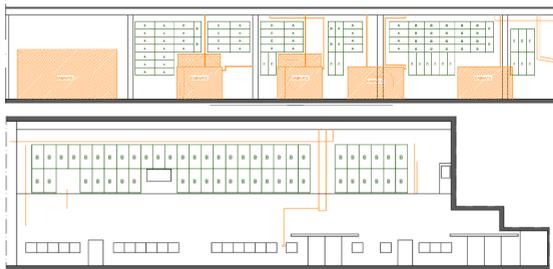
A partire dai vincoli di progetto indicati al punto 19, è stato sviluppato il progetto esecutivo di tutti gli interventi descritti al punto 20, con eccezione del cabinato silente della sorgente S06 (intervento indicato al punto 'e'), per il quale sono state date indicazioni circa le prestazioni acustiche di tutti i componenti.

L'ingegnerizzazione degli interventi è stata sviluppata a partire da un rilievo di dettaglio delle dimensioni e dei materiali presenti, con particolare attenzione alla resistenza meccanica degli elementi di supporto (travi, strutture metalliche, ecc.).

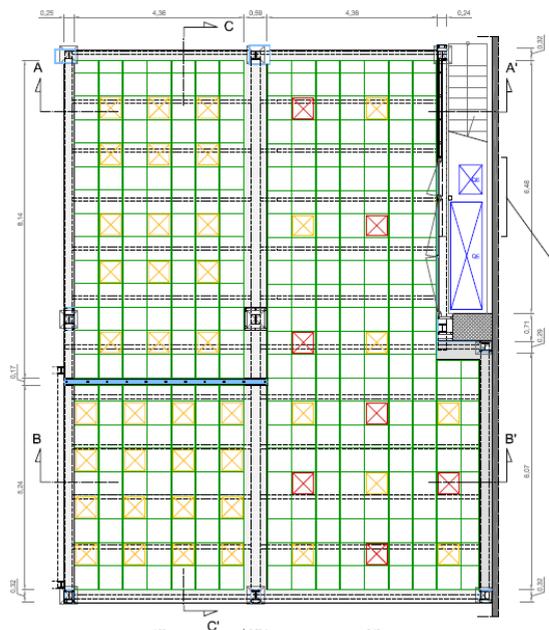
Ciascun progetto architettonico è composto dai seguenti elaborati:

- relazione tecnica;
- computo metrico estimativo;
- elenco prezzi unitari;
- capitolato prestazionale;
- elaborati grafici dello stato attuale;
- elaborati grafici dello stato di progetto;
- elaborati strutturali (se necessari);
- calcoli illuminotecnici (se necessari).

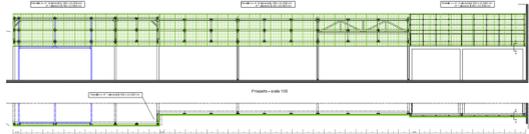
Prospetti con indicazione dei rivestimenti fono-assorbenti a parete



Pianta dei controsoffitti



Prospetto dei pannelli fono-assorbenti verticali



Baffles fono-assorbenti

La principale problematica relativa all'installazione dei baffles fono-assorbenti ha riguardato la progettazione di una struttura di sospensione dedicata, tale da permettere la collocazione dei baffles in aderenza al pannello sandwich di copertura, in modo da massimizzare l'altezza dei baffles e, nel contempo, non interferire con l'ombrello degli sprinkler esistenti. Oltre a questo, si è avuta la necessità di prevedere una struttura di sostegno in grado di compensare la mancata regolarità delle travi in c.a. prefabbricato.

Rivestimento fono-assorbente a parete

Per quanto riguarda il progetto esecutivo dei rivestimenti a parete la principale problematica ha riguardato il prevedere sistemi di fissaggio differente in funzione del tipo di supporto: in aderenza alla parete mediante opportuni tasselli, con correnti orizzontali realizzati mediante profili metallici, con struttura secondaria costituita montanti verticali e correnti orizzontali in profili metallici.

Controsoffitto fono-assorbente

Il progetto dei controsoffitti fono-assorbenti è stato elaborato con particolare attenzione ai seguenti aspetti: coerenza stilistica con l'architettura dello stabilimento, interferenza con i numerosi impianti tecnici presenti (canalizzazioni dell'aria, canalizzazioni elettriche e dati, unità ventilanti, ecc.), corretti livelli di illuminamento da garantire in ciascuna area di lavoro mediante la progettazione del nuovo sistema di illuminazione, adeguamento dell'impianto antincendio, ecc.

Pannelli fono-assorbenti verticali

Il progetto esecutivo dei pannelli fono-assorbenti verticali ha previsto la creazione di una nuova struttura a telaio, realizzata mediante profilati leggeri in alluminio collegati tra loro mediante angolari in alluminio e fissati alla struttura esistente mediante piastre saldate. La principale problematica ha riguardato gli elementi di raccordo con la struttura metallica esistente, non perfettamente regolare.

DIREZIONE LAVORI

Conformità dei sistemi acustici

La Direzione Lavori è stata svolta inizialmente fornendo assistenza al Committente nella fase di selezione delle imprese realizzatrici, mediante l'effettuazione di sopralluoghi congiunti con committente e Imprese, volti a evidenziare le peculiarità dei progetti e le difficoltà realizzative legate alle esigenze della produzione. Sono state definite inoltre le tempistiche di realizzazione degli interventi, tali da non interferire con le normali attività lavorative e di pulizia dello stabilimento; sono stati per lo più impiegati periodi festivi, fine settimana e periodi notturni. Una volta assegnati i lavori, la D.L. ha eseguito la verifica di conformità delle caratteristiche tecniche ed acustiche dei prodotti proposti dalle Imprese alle caratteristiche di progetto.

Controllo dell'esecuzione degli interventi

Tale fase di D.L. è stata svolta mediante sopralluoghi nelle fasi più importanti della messa in opera degli elementi, volta a verificare la correttezza degli elementi installati e le relative modalità realizzative. Nei casi in cui non è stato possibile installare i sistemi di progetto, per la presenza di nuovi elementi non presenti al momento del rilievo di progetto, sono state individuate collocazioni alternative o diverse modalità realizzative.

COLLAUDO ACUSTICO

Verifica dell'efficacia acustica degli interventi

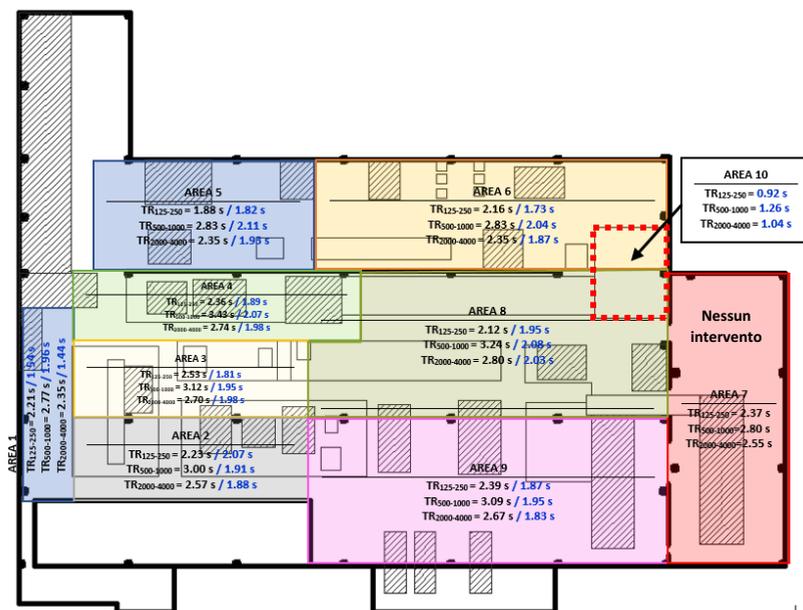
Gli interventi realizzati oggetto di verifica acustica sono i seguenti:

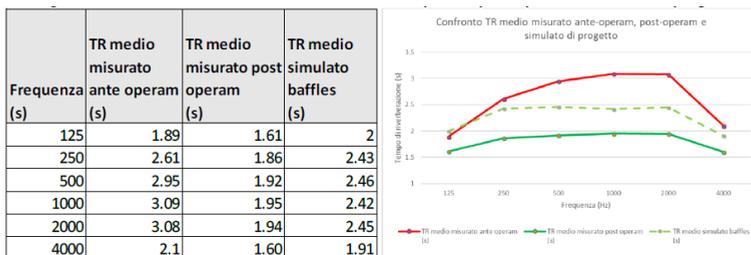
- baffles fono-assorbenti a soffitto;
- controsoffitto fono-assorbente;
- pannelli fono-assorbenti verticali;
- segregazione sorgente S06 mediante realizzazione di cappottatura fonoisolante e fono-assorbente.

La verifica acustica degli interventi realizzati è stata effettuata mediante il confronto con le misure fonometriche effettuate in condizione ante-operam dei seguenti parametri:

- tempo di riverberazione dello stabilimento, T_{30} (s);
- indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, DL_2 (dB(A));
- livelli di pressione sonora prodotti dalle sorgenti in punti standard dello stabilimento, L_{Aeq} (dB(A));
- rumore degli impianti di trattamento dell'aria in assenza di attività della produzione (L_{Aeq} [dB(A)]).

Tempo di riverberazione T_{30} (s)





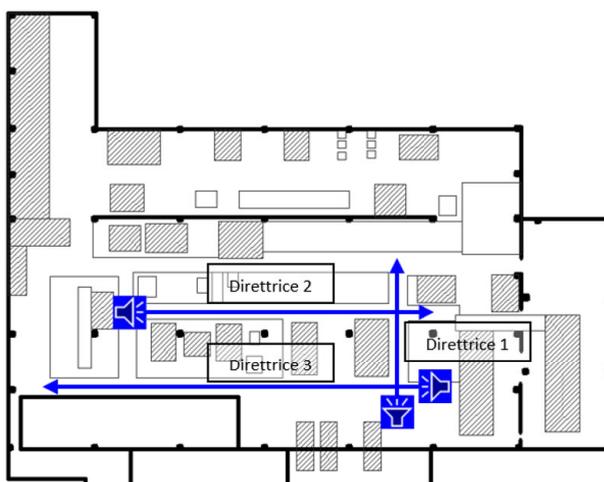
Osservazioni ai risultati delle misure del parametro T_{30}

- Il T_{30} , in seguito alla realizzazione degli interventi sopra descritti, risulta più basso in tutte le aree dello stabilimento su tutto lo spettro di frequenze oggetto di esame, con particolare evidenza alle frequenze 500-2000 Hz.
- Alle frequenze medie la riduzione rilevata del T_{30} varia da un minimo di 0.7-0.8 secondi (decremento del 25-30% rispetto alla situazione ante interventi) nelle aree 5 e 6, fino ad un massimo di 1.15-1.36 secondi (decremento del 36-40% rispetto alla situazione ante interventi).
- La realizzazione dei baffles ha determinato una efficacia acustica maggiore nelle aree centrali dello stabilimento, in quanto le aree perimetrali sono maggiormente affette dalle riflessioni sonore prodotte dalle pareti sulle quali non sono stati ancora realizzati gli interventi previsti.
- La riduzione del T_{30} rilevata nelle aree 1 e 10 risulta con ogni probabilità sottostimata in quanto le misure post-operam sono state effettuate quando i baffles non erano ancora stati installati.
- Nell'area 10, la realizzazione del controsoffitto fono-assorbente ha comunque determinato una riduzione del TR pari a 1.65 secondi, corrispondente al 56%.
- Il tempo di riverberazione medio dell'intero stabilimento alle frequenze medie nella condizione post interventi è risultato pari a circa 2 secondi, mentre nella condizione ante superava i 3 secondi.

Confronto con il progetto acustico

Si può osservare come il T_{30} medio misurato in condizione post-operam abbia lo stesso andamento in frequenza del T_{30} medio simulato di progetto, ma risulti inferiore di circa 0.5 s su tutto lo spettro di frequenze. Tale risultato con ogni probabilità è dovuto alla maggiore prestazione dei baffles installati, in termini di coefficienti di assorbimento acustico rispetto a quelli impiegati nello studio acustico.

Indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, DL_2 (dB(A))



Direttrice 1

Distanza (m)	CAMPO VICINO					CAMPO INTERMEDIO						CAMPO LONTANO					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	24	28
log ₂ (dist)	0	1.00	1.58	2.00	2.32	2.58	2.81	3.00	3.17	3.32	3.58	3.81	4.00	4.17	4.32	4.58	4.81
CONDIZIONE POST-OPERAM																	
Leq (dBA)	106.7	101.5	98.6	97.1	96.1	95.3	94.4	93.6	92.8	92.3	91.6	91.1	90.5	90.1	89.8	88.3	86.7
L1 - L2 (dBA)		5.2	2.9	1.4	1.1	0.8	0.8	0.9	0.8	0.5	0.7	0.6	0.5	0.5	0.2	1.6	1.5
DL ₂ (dBA)	4.63					3.34						5.39					
CONDIZIONE ANTE-OPERAM																	
Leq (dBA)	107.4	102.8	100.1	98.4	97.3	96.4	95.8	94.9	94.3	93.8	93.0	92.4	91.7	91.1	90.8	89.7	88.7
DL ₂ (dBA)	4.37					3.31						3.93					

Direttrice 2

Distanza (m)	CAMPO VICINO					CAMPO INTERMEDIO						CAMPO LONTANO											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	24	28	32	36	40	48	56	
log ₂ (dist)	0	1.00	1.58	2.00	2.32	2.58	2.81	3.00	3.17	3.32	3.58	3.81	4.00	4.17	4.32	4.58	4.81	5.00	5.17	5.32	5.58	5.81	
CONDIZIONE POST-OPERAM																							
Leq (dBA)	106.1	101.7	99.3	97.2	95.7	94.5	93.8	93.4	92.6	92.0	91.1	90.5	89.9	89.1	88.1	87.3	86.9	84.9	83.8	83.3	80.3	79.1	
L1 - L2 (dBA)		4.4	2.4	2.1	1.5	1.2	0.7	0.4	0.9	0.6	1.0	0.6	0.6	0.7	1.0	0.8	0.4	1.9	1.1	0.6	3.0	1.2	
DL ₂ (dBA)	4.46					3.36						6.14											
CONDIZIONE ANTE-OPERAM																							
Leq (dBA)	105.8	103.6	100.3	98.2	97.4	96.2	96.0	94.9	94.8	92.9	93.2	92.2	91.8	91.1	90.6	89.2	88.1	86.8	86.1	84.9	83.5	81.8	
DL ₂ (dBA)	3.85					3.34						5.68											

Direttrice 3

Distanza (m)	CAMPO VICINO					CAMPO INTERMEDIO						CAMPO LONTANO												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	24	28	32	36	40	48	56	64	72
log ₂ (dist)	0	1.00	1.58	2.00	2.32	2.58	2.81	3.00	3.17	3.32	3.58	3.81	4.00	4.17	4.32	4.58	4.81	5.00	5.17	5.32	5.58	5.81	6.00	6.17
CONDIZIONE POST-OPERAM																								
Leq (dBA)	105.9	101.4	98.3	97.0	95.6	94.9	93.7	93.4	92.3	92.1	91.4	90.8	90.4	89.7	89.3	87.2	87.0	86.2	84.6	83.4	81.9	81.0	80.4	79.1
L1 - L2 (dBA)		4.5	3.1	1.3	1.4	0.7	1.2	0.4	1.0	0.2	0.7	0.6	0.4	0.8	0.4	2.1	0.2	0.8	1.7	1.2	1.4	0.9	0.6	1.3
DL ₂ (dBA)	4.46					3.09						5.37												
CONDIZIONE ANTE-OPERAM																								
Leq (dBA)	106.1	101.6	99.3	97.5	96.4	95.8	95.3	94.3	94.1	93.6	93.4	92.6	92.0	91.4	90.6	89.9	89.5	88.6	87.4	86.1	84.3	82.5	81.6	80.3
DL ₂ (dBA)	4.2					2.55						5.65												

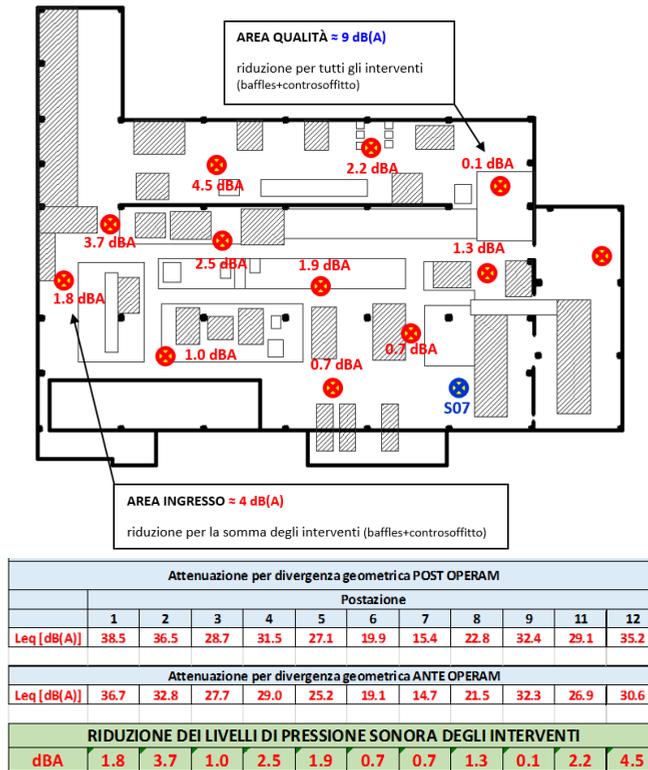
Osservazioni ai risultati delle misure del parametro DL₂

Dalle indagini svolte si è potuto constatare che, in seguito all'installazione dei baffles fono-assorbenti, si verificano attenuazioni della propagazione sonora lungo le direttrici principali dello stabilimento pari a circa 2 dB(A).

Il parametro DL₂ rilevato in condizione post-operam, lungo le tre direttrici analizzate, è risultato pari a circa 4 dB(A) nel campo vicino (1-5 m), circa 3 dB(A) nel campo intermedio (6-16 m), maggiore di 5 dB(A) nel campo lontano (oltre i 17 m).

Tali valori risultano in linea con i valori di riferimento per il parametro DL₂ indicati dalla norma UNI EN ISO 11690-1:1998 'Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario - Strategie per il controllo del rumore', che al prospetto 3 (Caratteristiche acustiche consigliate per gli ambienti di lavoro), per ambienti di volumetria maggiore di 1000 m³, consiglia di raggiungere valori del parametro DL₂ maggiori di 3-4 dB al fine di rendere le riflessioni generate dall'ambiente trascurabili rispetto all'energia diretta proveniente da una determinata sorgente.

Attenuazione dei livelli di pressione sonora prodotti dalla sorgente S07 in punti noti dello stabilimento, L_{Aeq} , in corrispondenza della condizione post-operam



Osservazioni ai risultati delle misure del parametro L_{Aeq}

Al fine di valutare l'attenuazione per divergenza geometrica in ambiente, si è scelto di effettuare misure dei livelli di pressione sonora in alcuni punti-ricettore dislocati all'interno dell'area esaminata, in riferimento ad alcune specifiche sorgenti scelte in accordo con il Committente. Per comodità vengono presentati i risultati relativi alla sorgente S07.

Dal momento che la rumorosità delle altre sorgenti presenti nello stabilimento è tale da mascherare il livello sorgente della macchina oggetto di analisi, si è provveduto, sia in fase ante che post-operam, ad eseguire misure fonometriche per la verifica dell'attenuazione dei livelli sonori nelle diverse zone dello stabilimento, mediante l'utilizzo di una sorgente campione omnidirezionale (rumore rosa), collocata nella stessa posizione dell'attività produttiva oggetto di analisi (S07). Tale sorgente è stata regolata ad un volume sufficientemente più elevato del rumore di fondo nello spettro di frequenze di interesse.

La procedura di rilievo ha previsto l'attivazione della sorgente campione e la rilevazione contemporanea del livello di rumore a breve distanza mediante uno strumento mantenuto fisso in tale posizione, e nelle 12 postazioni esaminate, mediante lo spostamento di un secondo strumento. In ogni postazione di misura è stato rilevato il livello di rumore ambientale ed il livello di rumore di fondo (a sorgente campione spenta) e ricavato il livello sorgente attraverso una sottrazione energetica. Successivamente in ciascun punto esaminato è stata calcolata l'attenuazione per divergenza geometrica sottraendo al livello misurato in prossimità della sorgente il livello sorgente calcolato al ricettore (i risultati sono riportati in tabella).

Dall'analisi dei dati misurati e dai relativi confronti ante e post-operam sopra riportati, si possono desumere le seguenti considerazioni:

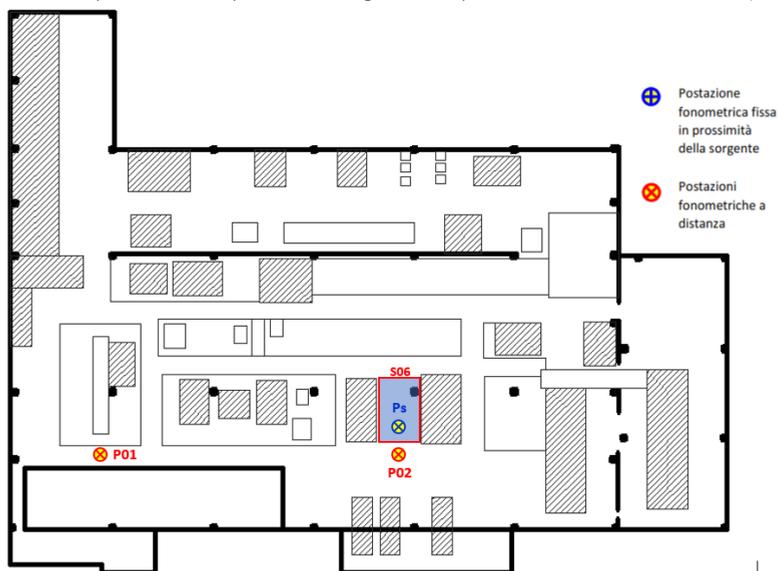
- gli interventi realizzati hanno determinato riduzioni dei livelli di pressione prodotti dalla sorgente campione in tutti i punti dello stabilimento oggetto di indagine;
- l'intervento di realizzazione dei baffles risulta maggiormente efficace nei punti più distanti e/o più schermati dalla sorgente, in quanto tale tipo di intervento riduce la componente riverberata del rumore, mentre non è in grado di influenzare la propagazione diretta;

- gli interventi di correzione ambientale realizzati determinano l'ottimizzazione dell'effetto di schermo degli elementi già presenti nello stabilimento (es. cabinati, barriere, pareti, ecc.) o che verranno successivamente realizzati;
- nello scenario esaminato le attenuazioni rispetto alla condizione ante-baffles variano da un minimo di 0.1 dB(A) nel punto al di sotto del controsoffitto di progetto, ad un massimo di 4.5 dB(A) nei punti più lontani;
- l'attenuazione rilevata nei punti 1 e 9, rispettivamente al di sotto dei due controsoffitti di progetto, si riferiscono al solo contributo dovuto alla presenza dei baffles fono-assorbenti, in quanto le misure ante-operam di confronto sono state effettuate a controsoffitti realizzati. In linea di massima per valutare il reale contributo di tutti gli interventi eseguiti (controsoffitti+baffles), è stato effettuato il confronto con i livelli misurati nei punti vicini a quelli in esame. Da tale confronto è possibile stabilire che la riduzione dei livelli di pressione è pari a circa 4 dB(A) per il punto 1 e circa 9 dB(A) per il punto 9.

Confronto con il progetto acustico

Si è potuto riscontrare un sostanziale accordo con quanto simulato in fase di progetto, in quanto, in corrispondenza dello scenario dei baffles (A1), le attenuazioni variano da un minimo di 0.2 dB(A) in prossimità della sorgente, fino ad un massimo di 2.9 dB(A) nei punti più lontani.

Livelli di pressione sonora prodotti dalla sorgente S06 in punti standard dello stabilimento, L_{Aeq}



	Livelli di pressione sonora della sorgente specifica [dB(A)]		
	P01	P02	Ps
Ante-operam	78.9	-	-
Post-operam	62.6 (rumore di fondo = 61.6)	78.0	110.0
Attenuazione	> 16 dB(A)	-	-

Osservazioni ai risultati delle misure del parametro L_{Aeq}

Il collaudo degli interventi (trattamenti ambientali e segregazione sorgente) è stato effettuato mediante attivazione della sorgente specifica, oggetto di segregazione.

Dall'analisi svolta si può certamente osservare come nella postazione P02, posta a distanza di 50 m dalla sorgente oggetto di segregazione, il rumore generato dalla specifica sorgente produca un livello di energia pari a 62.6 dB(A) a fronte di un rumore di fondo nel medesimo punto pari a 61.6 dB(A). Ciò posto, si può affermare che a tale distanza il rumore generato dalla sorgente, contrariamente a quanto accadeva precedentemente ai lavori di cabinatura ove il livello di rumore ambientale risultava pari a 78.9 dB(A) per la medesima lavorazione, è poco rilevante.

Si può inoltre evidenziare come l'attenuazione dovuta alla presenza del cabinato a 2 m dal portellone di ingresso (postazione P01), in termini di livello equivalente ponderato 'A', è pari a circa 30 dB(A). Tale prestazione è quella più cautelativa, considerando che in quella posizione la trasmissione di rumore avviene principalmente attraverso il portellone di ingresso, caratterizzato da una prestazione acustica inferiore a quella dei pannelli con cui sono state realizzate le pareti e la copertura del cabinato.

Confronto con il progetto acustico

Si è potuto riscontrare un sostanziale accordo con quanto simulato in fase di progetto, in quanto in corrispondenza dello scenario dei baffles, pannelli a parete e controsoffitto ingresso (A8) l'attenuazione simulata risultava pari a 15 dB(A). Tale sottostima è con ogni probabilità dovuta alla migliore prestazione acustica che caratterizza i baffles e il cabinato silente rispetto a quanto considerato nel progetto acustico.

Rumore di fondo degli impianti di trattamento dell'aria in assenza di attività della produzione (L_{Aeq} [dB(A)]).

Le sorgenti accese durante l'effettuazione delle misure di rumore degli impianti dell'aria dello stabilimento e dei cabinati sono risultate molto diverse tra la condizione ante e post realizzazione dei baffles, con un numero di sorgenti maggiore nella seconda condizione. Tale differenza ha reso le due sessioni di misura non direttamente confrontabili al fine di determinare l'efficacia acustica dei baffles nella riduzione del rumore degli impianti.

INFORMAZIONI GENERALI

Classificazione dell'ambiente:	1. Ambiente industriale
Comparto	Autovetture e componentistica
Periodo di riferimento:	2015-2018
Tipologia intervento di bonifica:	Interventi sulle sorgenti e sui cammini di propagazione
Superficie dell'ambiente (m ²):	24.800
Volume dell'ambiente (m ³):	248.000
Altezza media dell'ambiente (m):	10

FASE DI ANALISI

A.1 ANALISI DEL QUADRO CONOSCITIVO

Raccolta dati

- Piante, prospetti e sezioni dello stabilimento;
- Layout dello stabilimento con indicazione delle aree di produzione;
- As built impianti di condizionamento e trattamento aria.
- As built impianto di aspirazione polveri e immissione aria di reintegro.
- Valutazione rischio esposizione al rumore dei lavoratori (d.lgs. 81/2008).

Raccolta informazioni dei processi produttivi



Descrizione:

Lo stabilimento si configura attraverso un ambiente principale unico dove si svolgono le varie attività della produzione, organizzate in aree funzionali distinte, tra le quali non sono presenti elementi di separazione nello stato attuale. L'involucro è costituito da una struttura portante in pilastri e tegoli in c.a. prefabbricato, da pareti perimetrali realizzate mediante pannelli prefabbricati in cemento, da una copertura composta da pannelli sandwich, mentre la pavimentazione è in cemento liscio. Il principale ingresso della luce naturale avviene attraverso lucernari a shed e finestre a nastro. Si tratta di un contesto multisorgente (macchine, attrezzature e impianti tecnici) in cui le sorgenti sonore della produzione e impiantistiche più rilevati acusticamente sono collocate in una specifica zona dello stabilimento. Le principali sorgenti di rumore presenti sono relative alle attività della produzione e all'impianto di aspirazione polveri e immissione aria di reintegro. Questo, insieme al fatto che si tratta di uno stabilimento completamente open space, determina uno scenario di propagazione in cui alcune aree particolarmente rumorose impattano grandi porzioni di aree più silenziose.

Sorgenti acustiche

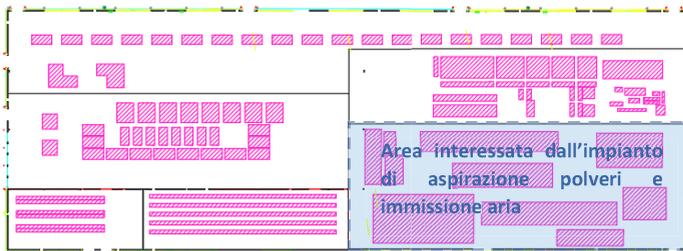
Sorgenti della produzione



Descrizione:

Nella figura accanto vengono evidenziate le macchine della produzione più rumorose, oggetto di caratterizzazione acustica. Si tratta di 22 macchine riconducibili alle tipologie di seguito indicate, la gran parte delle quali è dotata di una bocca di aspirazione delle polveri e dei residui della lavorazione, collegata alla testa di lavoro:

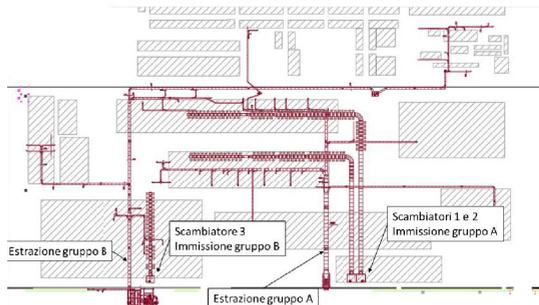
- S01 - Sezionatrice
- S02 - Sezionatrice
- S03 - Fresa
- S05 - Fresa
- S06 - Fresa
- S07 - Fresa
- S08 - Fresa
- S09 - Troncatrice regoli legno/pvc
- S10 - Pantografo
- S12 - Bordatrice
- S13 - Fresa
- S16 - Fresa
- S17 - Fresa
- S19 - Troncatrice alluminio
- S20 - Taglio all'acqua
- S21 - Bordatrice

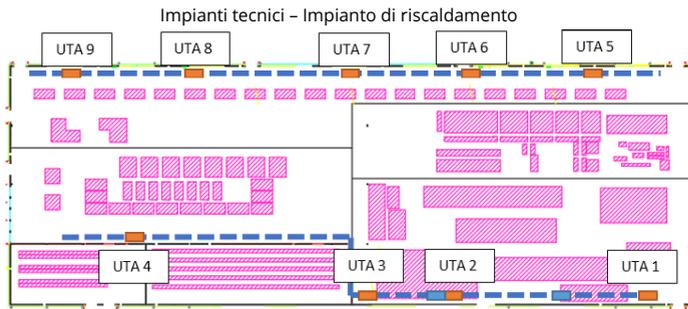


Impianti tecnici – Impianto di estrazione polveri e immissione aria di *reintegro*

Descrizione:

L'impianto di aspirazione polveri è composto da due sistemi distinti, ciascuno a sua volta costituito da un gruppo di estrazione e da uno o due gruppi di immissione aria di reintegro. I motori dei due gruppi di estrazione sono posti in esterno, mentre i tre scambiatori di calore per l'immissione dell'aria di reintegro sono posti all'interno dello stabilimento.





Descrizione:

L'impianto di riscaldamento è costituito da 9 Unità di Trattamento Aria poste a circa 5 m di altezza dal pavimento lungo le pareti perimetrali, sul cui perimetro corrono paralleli i canali microforati di mandata dell'aria. La ripresa dell'aria avviene direttamente attraverso l'UTA.

Raccolta schede tecniche e manuali d'uso

Non è stata fornita da parte del committente alcuna scheda tecnica o manuale d'uso.

Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili

In considerazione dell'obiettivo dello studio, ovvero la riduzione del rumore trasmesso dalla zona più rumorosa a quelle ove non sono presenti sorgenti particolarmente rumorose, non si è tenuto conto di specifiche postazioni di lavoro, ma di aree funzionali.

Definizione dei descrittori e dei valori obiettivo

Descrittori utilizzati per lo studio acustico:

- tempo di Riverberazione, T_{30} (s), relativo alle diverse aree dello stabilimento aventi caratteristiche simili;
- indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, DL_2 dB(A), lungo alcune direttrici ritenute significative al fine di descrivere l'andamento dell'energia riverberata all'interno dell'ambiente;
- livelli di pressione sonora prodotti dalle sorgenti della produzione in punti standard dello stabilimento (L_{Aeq} [dB(A)]);
- rumore dell'impianto di riscaldamento (L_{Aeq} [dB(A)]);
- rumore dell'impianto di aspirazione polveri e immissione aria di reintegro (L_{Aeq} [dB(A)]).

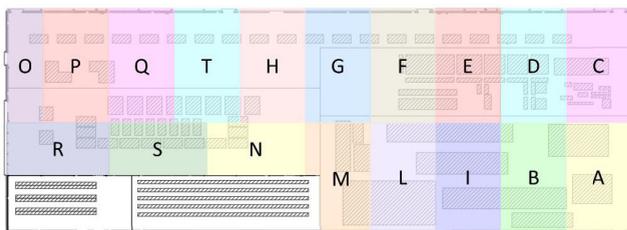
Individuazione degli obiettivi:

- Riduzione dell'impatto dell'area macchine CNC verso le aree di montaggio.

A.2 FASE DI ANALISI OPERATIVA - ACQUISIZIONE DATI

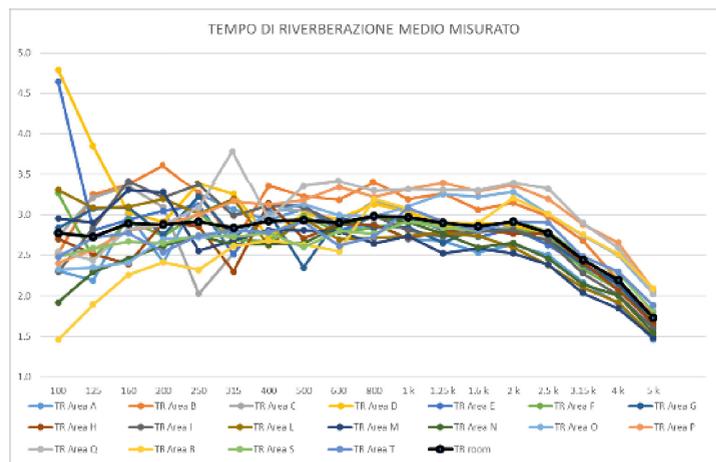
Misure di caratterizzazione dell'ambiente

Tempo di riverberazione, T_{30} (s)



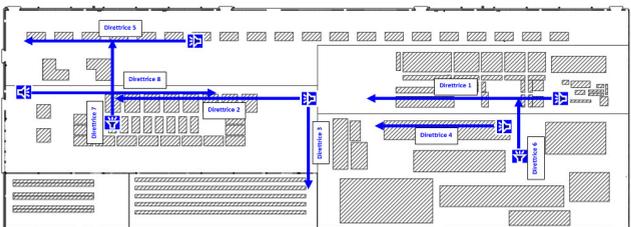
Descrizione:

Data la elevata volumetria e complessità si è ritenuto opportuno suddividere lo stabilimento in 18 aree differenti in cui sono state effettuate misure di tempo di riverberazione, considerando per ciascuna area almeno 2 postazioni sorgente e al minimo 4 postazioni microfoniche per ciascuna postazione sorgente. Tali aree sono state scelte sulla base dell'omogeneità volumetrica e materica. La misura del tempo di riverberazione è stata eseguita mediante la tecnica standard dell'interruzione del rumore stazionario.



I risultati hanno evidenziato un andamento abbastanza omogeneo del tempo di riverberazione nelle diverse aree dello stabilimento e nello spettro di frequenza oggetto di interesse. Il T_{30} medio si mantiene di poco al di sotto dei 3 secondi fino a 2000 Hz.

Indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, DL_2 dB(A)

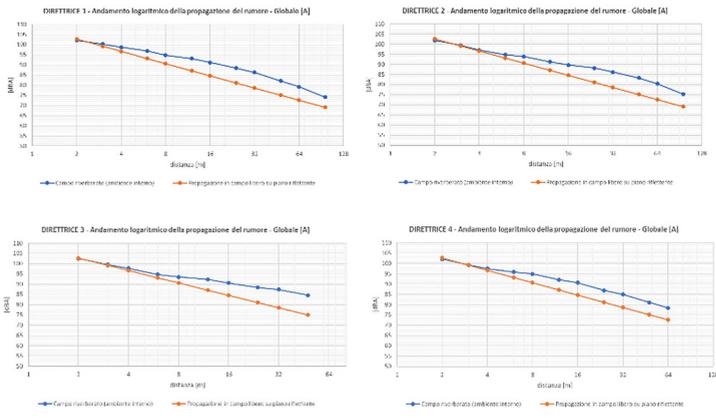


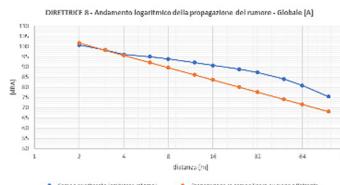
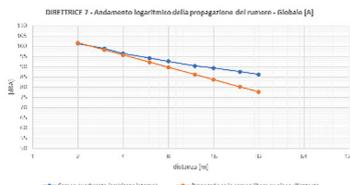
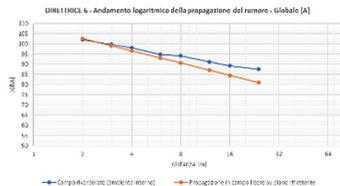
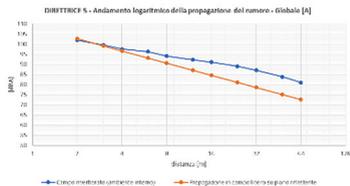
Descrizione:

Per valutare la propagazione del rumore in ambiente interno sono state eseguite misure fonometriche a distanze prestabilite mediante l'utilizzo di una sorgente campione omnidirezionale posizionata all'interno dello stabilimento al fine di verificare il decremento del rumore al raddoppio della distanza mediante la procedura per la valutazione del parametro DL_2 [dB(A)] in accordo con la norma UNI EN ISO 14257.:2006.

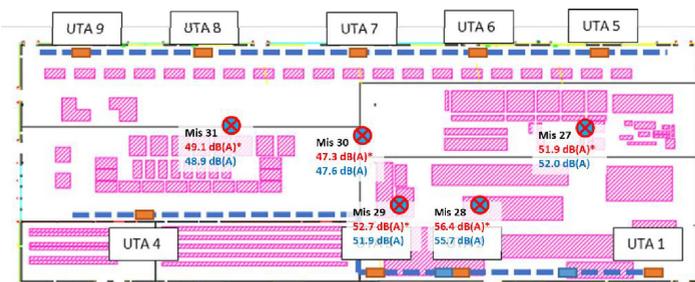
DIRETTRICE	DL_2			DL_1		
	Capo Vicino	Campo Intermedio	Campo lontano	Capo Vicino	Campo Intermedio	Campo lontano
Distanze (m)	1 - 6 m	6 - 16 m	16 - 32 m 16 - 48 m 16 - 64 m 16 - 96 m	1 - 6 m	6 - 16 m	16 - 24 m 16 - 32 m 16 - 48 m 16 - 64 m 16 - 96 m
1	3.3	3.6	7.2	1.6	5.5	6.3
2	4.5	4.1	6.4	0.4	4.1	7.2
3	4.9	2.8	3.8	0.7	4.6	8.4
4	4.0	4.3	6.1	0.7	5.0	5.9
5	3.7	3.0	5.7	0.9	5.0	8.3
6	4.5	4.2	-	0.8	4.9	-
7	4.5	3.3	3.1	0.7	4.2	7.3
8	3.7	3.2	6.7	0.6	5.7	8.7

In particolare, sono state indagate otto direttrici differenti, di cui cinque longitudinali e tre trasversali. Dalle indagini svolte si è potuto constatare che il parametro DL_2 che caratterizza lo scenario attuale, lungo le direttrici analizzate, è variabile tra 3-5 dB(A) nel campo vicino (1-6 m), 2.8-4 dB(A) nel campo intermedio (6-16 m), 3-7 dB(A) nel campo lontano (oltre 16 m). Osservando i grafici degli andamenti logaritmici della propagazione sonora all'interno dello stabilimento si può vedere come la propagazione lungo gli assi trasversali e longitudinali sia molto diversa. Nel caso delle direttrici trasversali si può osservare un andamento più simile a quello del campo diffuso, infatti il DL_2 è più basso e pari a circa 3 dB(A), mentre lungo le direttrici longitudinali dello stabilimento l'andamento non è diffuso ed il DL_2 risulta superiore a 5 dB(A).





Misure di rumore di fondo

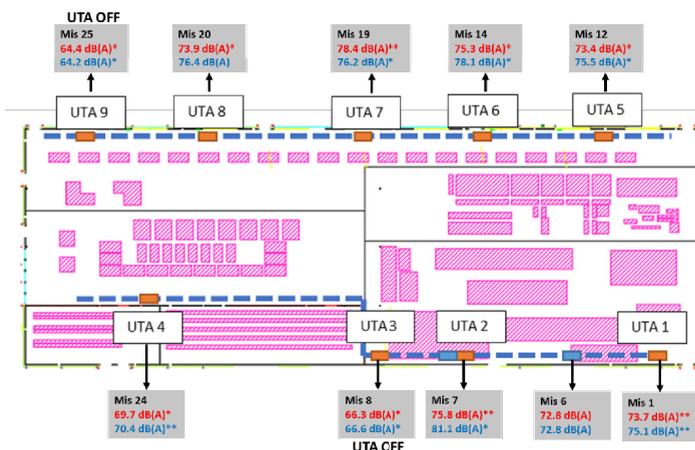


Descrizione:

In corrispondenza dello spegnimento di tutti gli impianti, nonché dell'assenza di produzione, sono state fatte misure di livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata 'A' in cinque punti dello stabilimento, a due altezze diverse dal pavimento: 1.5 m e 4.5 m. I livelli sonori misurati risultano compresi tra un minimo di 49 dB(A) e un massimo di 56 dB(A).

Misure degli impianti tecnici

Impianto di riscaldamento e scambiatori di calore



Descrizione:

In corrispondenza dell'accensione dell'impianto di riscaldamento e degli scambiatori di calore sono state effettuate misure fonometriche nelle diverse aree dello stabilimento a due altezze diverse dal pavimento: 1.5 m e 4.5 m. I risultati delle misure fonometriche effettuate mostrano che non ci sono differenze dei livelli sonori in altezza, mentre la zona più rumorosa risulta essere quella delle macchine a controllo numerico, dove si ha anche la maggiore concentrazione delle sorgenti impiantistiche. In questa zona i livelli sonori risultano abbastanza omogenei, variabili tra 70 e 75 dB(A). A parità di distanza dalle UTA, le aree più rumorose sono risultate essere quelle prossime alle UTA che si trovano sul lato dove sono collocati anche gli scambiatori. Nella zona più lontana dall'area macchine CNC i livelli risultano sempre inferiori a 70 dB(A), anche perché una delle UTA non risultava funzionante al momento delle misure.

Spettri dei livelli di potenza sonora delle sorgenti della produzione oggetto di caratterizzazione acustica



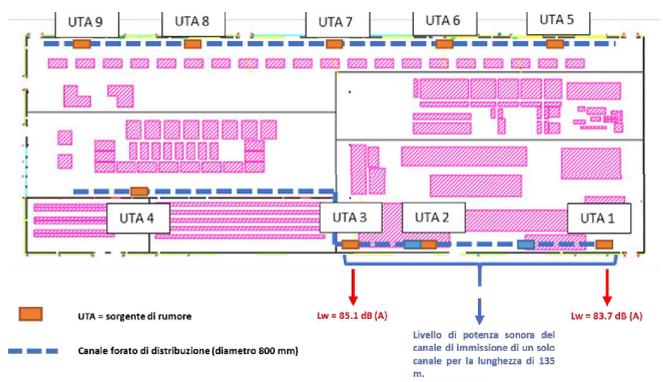
misure di tempo di riverberazione di cui al punto 7.

I dati relativi alla geometria della superficie fittizia di misurazione, ai livelli di pressione sonora misurati in tutti i punti di tale superficie e ai tempi di riverberazione dello stabilimento sono stati implementati nel modulo 3744:2010, presente nel software di simulazione acustica impiegato. Il risultato di questo calcolo è costituito dalla determinazione del livello di potenza sonora e della direttività in frequenza.

Il tempo di misura per ciascuna macchina è stato scelto in funzione della tipologia di lavorazione della macchina, al fine di caratterizzare l'intero ciclo di lavoro della stessa e in funzione della stazionarietà del rumore sorgente tale da rappresentare con sufficiente dettaglio il fenomeno. La caratterizzazione acustica di ogni sorgente ha tenuto conto anche della rumorosità prodotta dalla bocca di aspirazione collocata in prossimità della testa di lavoro della macchina.

I risultati delle misure mostrano come lo spettro dell'emissione sonora delle diverse sorgenti sia abbastanza omogeneo in frequenza.

Impianto di riscaldamento

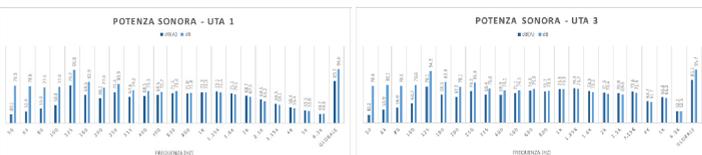


Descrizione:

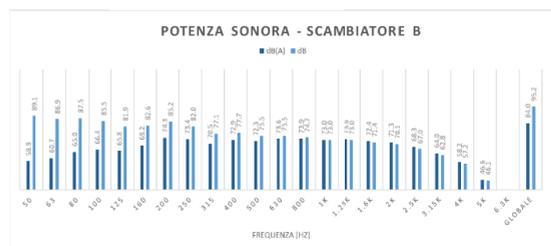
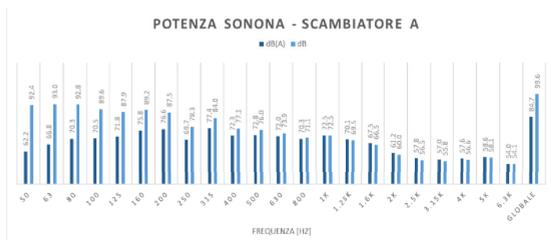
Dal momento che l'indagine acustica ha mostrato come il contributo del rumore prodotto dagli impianti tecnici presenti nello stabilimento sia particolarmente rilevante rispetto a quello della produzione, è stato effettuato un successivo approfondimento mediante misure di intensità sonora sulle UTA e sui canali immissione aria.

Di seguito si elencano le osservazioni emerse sulla base dell'analisi effettuata:

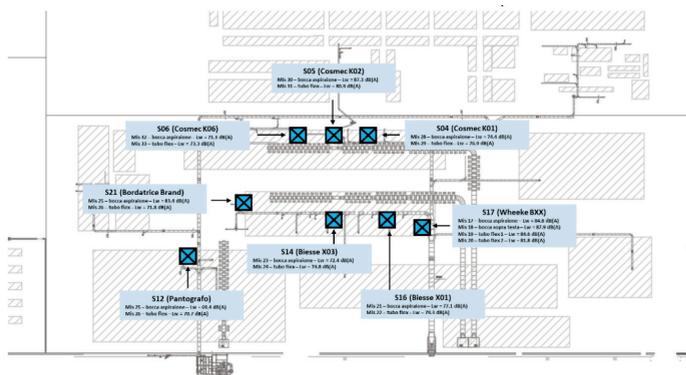
- 1) il livello di potenza sonora calcolato per le due UTA è risultato pari a circa 84-85 dB(A);
- 2) dall'analisi effettuata sulle singole facce delle UTA emerge che la faccia meno rumorosa è quella dove sono collocate le griglie interne di ripresa dell'aria, mentre quelle più rumorose sono rispettivamente la faccia inferiore e quella in prossimità del plenum dei canali, ove è collocato il motore;



Spettro in frequenza delle potenze sonore delle sorgenti SCAMBIATORI



Caratterizzazione acustica mediante misure intensimetriche dei canali di distribuzione delle macchine e bocca di aspirazione



2. la canalizzazione per l'estrazione polveri B è caratterizzata da un livello di potenza inferiore rispetto a quello A, in quanto molto più lungo e a servizio di un numero inferiore di macchine della produzione;

3. tale canalizzazione è dotata di un ventilatore di rilancio che ha un livello di potenza sonora di 86 dB(A) e, nell'ultimo tratto, di un serbatoio di raccolta polveri con filtro a maniche con $L_{w,A}$ pari a 83 dB(A).

Le misure in prossimità della bocca di aspirazione della testa di lavoro della macchina e lungo alcuni tratti flessibili del canale di aspirazione hanno prodotto i seguenti risultati:

- 1) I livelli di potenza delle bocche di aspirazione sono variabili da un minimo di 69 dB(A), per la sorgente S10, fino ad un massimo di 87-88 dB(A) per le sorgenti S17 e S05;
- 2) i livelli di potenza dei tratti flessibili delle canalizzazioni variano da un minimo di 70 dB(A), per la sorgente S10, ad un massimo di 84 dB(A), per la sorgente S17;
- 3) in linea generale si può affermare che i tratti rigidi dei canali di aspirazione in metallo risultano maggiormente rumorosi dei tratti flessibili.

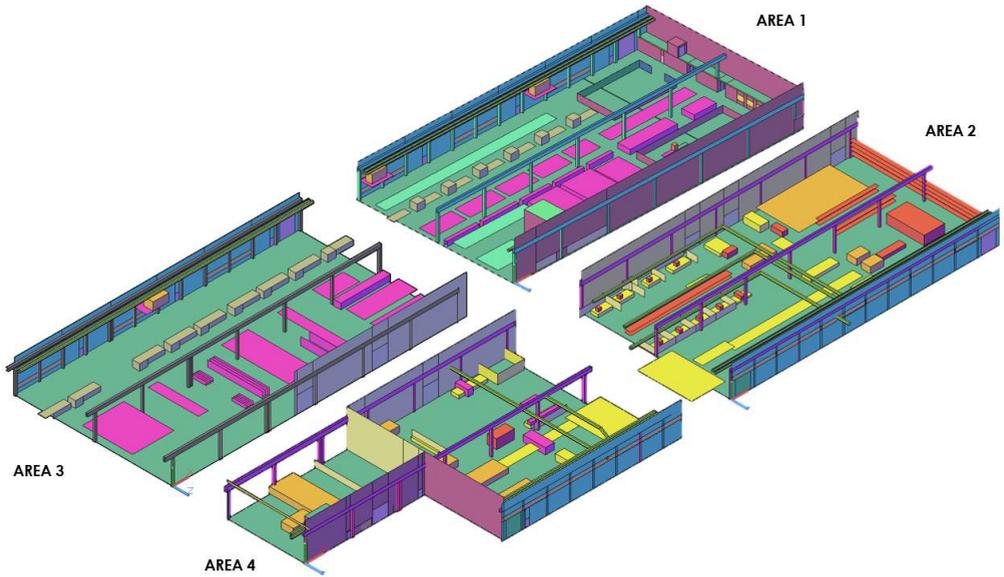
Misure di vibrazione

Si veda il punto 11.

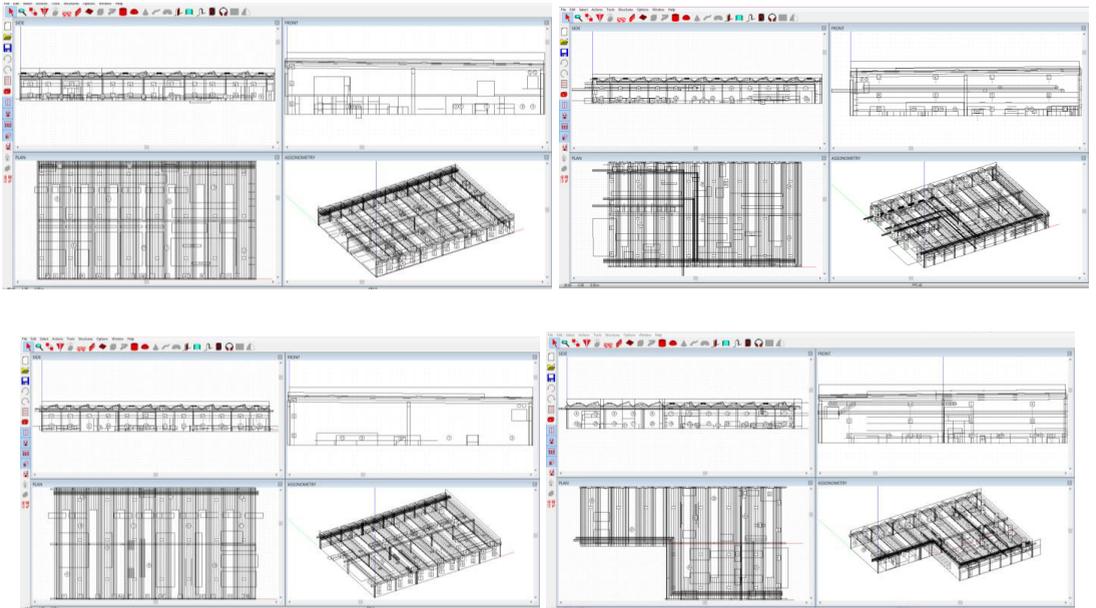
Rilievo geometrico e materico dello stabilimento

La geometria dello stabilimento è stata ricostruita a partire dagli elaborati grafici forniti dal committente, previa verifica a campione di alcuni elementi in esso presenti. È stato inoltre effettuato un rilievo geometrico e materico dei principali elementi di arredo (aree di stoccaggio dei materiali, canali dell'aria, ecc.), dei cabinati e delle sorgenti caratterizzate da un volume acusticamente significativo.

Modello tridimensionale dello stabilimento



Implementazione dei modelli tridimensionali dello stabilimento all'interno del software di simulazione acustica



La validazione del modello acustico è stata effettuata mediante il confronto dei seguenti parametri:

- tempi di riverberazione medi misurati e simulati in ciascuna delle 4 aree in cui è stato idealmente suddiviso lo stabilimento;
- livelli di pressione sonora prodotta dalle singole macchine della produzione e dagli impianti tecnici nelle diverse aree dello stabilimento.

Nelle tabelle sotto riportate è presente il confronto tra il T₃₀ medio misurato e simulato all'interno di ciascuna delle aree. Il modello è stato ritenuto validato in quanto le differenze medie tra i valori misurati e simulati sono risultate al di sotto del 5%.

Confronto tra i T₃₀ misurati e simulati nelle diverse aree dello stabilimento

Frequenza [Hz]	AREA 2											
	Misurato				Simulato				Differenza (misurato-simulato)			
	TR Area A	TR Area B	TR Area I	media	TR Area A	TR Area B	TR Area I	media	TR Area A	TR Area B	TR Area I	media
125	2.50	3.05	2.85	2.80	2.87	2.81	2.86	2.85	-0.37	0.24	-0.01	-0.05
250	2.91	3.18	3.19	3.09	3.15	3.34	3.23	3.24	-0.24	-0.16	-0.04	-0.15
500	2.94	3.26	3.03	3.08	3.08	3.23	3.18	3.16	-0.14	0.03	-0.15	-0.09
1k	2.93	3.29	3.04	3.03	2.82	2.99	2.79	2.85	0.09	0.34	0.05	0.16
2k	2.56	3.06	2.76	2.79	2.68	2.80	2.66	2.71	-0.12	0.26	0.10	0.08
4k	1.84	2.21	1.96	2.01	2.03	2.13	1.88	2.01	-0.19	0.08	0.08	-0.01

Frequenza [Hz]	AREA 1											
	Misurato				Simulato				Differenza (misurato-simulato)			
	TR Area C	TR Area D	TR Area E	media	TR Area C	TR Area D	TR Area E	media	TR Area A	TR Area B	TR Area I	media
125	3.10	3.89	3.47	3.48	3.13	3.29	3.30	3.24	-0.03	0.60	0.17	0.24
250	2.55	3.18	2.89	2.87	3.11	2.98	3.20	3.10	-0.56	0.20	-0.21	-0.23
500	2.99	2.89	3.01	2.97	3.05	2.92	3.13	3.03	-0.06	-0.03	-0.12	-0.07
1k	3.00	3.01	2.92	2.98	2.95	2.94	3.09	2.99	0.05	0.07	-0.17	-0.02
2k	2.80	2.85	2.72	2.79	2.77	2.79	2.91	2.82	0.03	0.06	-0.19	-0.03
4k	2.06	2.10	2.04	2.07	2.07	2.06	2.15	2.09	-0.01	0.04	-0.11	-0.02

Frequenza [Hz]	AREA 4											
	Misurato				Simulato				Differenza (misurato-simulato)			
	TR Area L	TR Area M	TR Area N	media	TR Area L	TR Area M	TR Area N	media	TR Area A	TR Area B	TR Area I	media
125	3.16	3.05	2.72	2.81	2.92	2.75	2.62	2.76	0.24	0.30	-0.40	0.05
250	3.48	2.84	2.66	2.88	2.84	2.72	2.61	2.76	0.20	0.12	0.05	0.11
500	2.76	2.81	2.72	2.76	2.91	2.66	2.56	2.71	-0.15	0.15	0.16	0.05
1k	2.74	2.64	2.88	2.76	2.98	2.70	2.62	2.76	-0.22	-0.06	0.26	0.00
2k	2.57	2.50	2.57	2.55	2.77	2.57	2.40	2.58	-0.20	-0.07	0.17	-0.03
4k	1.84	1.79	1.90	1.84	2.06	2.02	1.66	1.91	-0.22	-0.23	0.24	-0.07

Frequenza [Hz]	AREA 3											
	Misurato				Simulato				Differenza (misurato-simulato)			
	TR Area F	TR Area G	TR Area H	media	TR Area F	TR Area G	TR Area H	media	TR Area A	TR Area B	TR Area I	media
125	2.89	3.00	2.54	2.81	2.82	2.93	2.84	2.86	0.07	0.07	-0.30	-0.05
250	2.82	2.90	2.69	2.80	2.84	2.94	2.85	2.88	-0.02	-0.04	-0.16	-0.07
500	2.82	2.78	2.91	2.84	2.88	2.98	2.88	2.91	-0.06	-0.20	0.03	-0.08
1k	2.88	2.78	2.80	2.83	2.80	2.88	2.80	2.83	0.08	-0.10	0.00	-0.01
2k	2.79	2.77	2.78	2.78	2.74	2.82	2.74	2.77	0.05	-0.05	0.04	0.02
4k	2.02	2.07	2.05	2.05	2.09	2.18	2.13	2.13	-0.07	-0.11	-0.08	-0.09

Nelle tabelle che seguono è presente il confronto tra i livelli di pressione sonora misurati e simulati in corrispondenza di alcune sorgenti della produzione e alcuni impianti tecnici presenti nello stabilimento. Il modello è stato ritenuto validato in quanto le differenze medie tra i valori misurati e simulati sono risultate contenute entro ±2 dB(A) sul livello sorgente.

Confronto tra i L_{Aeq} misurati e simulati nelle diverse aree dello stabilimento in corrispondenza dell'attivazione di alcune delle sorgenti ivi presenti

Postazione	Sorgente S20 - taglio all'acqua			
	Misurato Leq (dB(A))	Simulato Leq (dB(A))	Differenza	note
A	68.1	71	2.9	
B	69.2	71.5	2.3	
C	68.6	70.9	2.3	
D	67.9	68.4	0.5	
E	67.2	64.9	-2.3	Mascherato dall'impianto aspirazione
F	72.6			Mascherato dall'impianto aspirazione
centro area	68.9	71.3	2.4	
1	84.1	83.8		in prossimità della sorgente
3	85.9	86.3		in prossimità della sorgente

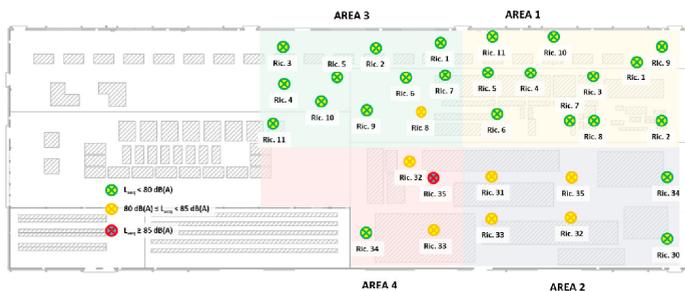
Postazione	Sorgente S05 - cosmec K02			
	Misurato Leq (dB(A))	Simulato Leq (dB(A))	Differenza	note
M	78.5	75.6	-2.9	Mascherato dall'impianto aspirazione
F	81.3	83	1.7	
E	76.8	75	-1.8	
D	75.4	69.6	-5.8	Mascherato dall'impianto aspirazione
50	91.7	91.8	0.1	in prossimità della sorgente

Postazione	Scambiatore A + canali immissione			
	Misurato Leq (dB(A))	Simulato Leq (dB(A))	Differenza	note
Mis 6	63.7	64	-0.3	
Mis 1	65.8	67	-1.2	
Mis 2	65.9	65	0.9	
Mis 3	65.2	64	1.2	
Mis 4	63.3	61.9	1.4	

Postazione	UTA+canali immissione			
	Misurato Leq (dB(A))	Simulato Leq (dB(A))	Differenza	note
Mis.17	58.9	60.3	-1.4	
Mis.19	58.5	59	-0.5	
Mis.16	61.2	61.2	0	
Mis.18	58.8	59	-0.2	

Calcolo dei livelli di pressione sonora ante-operam

Collocazione dei punti in cui è stato effettuato il calcolo dei livelli sonori nello scenario ante-operam



Descrizione:

È stata definita una configurazione tipo di attivazione delle sorgenti al fine di valutare i livelli di rumore caratteristici delle diverse aree e stabilire le eventuali criticità acustiche in termini di individuazione delle sorgenti acustiche più impattanti e delle aree dello stabilimento maggiormente impattate. In particolare, lo scenario ante-operam, oggetto di simulazione, è quello relativo all'attivazione contemporanea di tutte le sorgenti della produzione e impiantistiche oggetto di analisi, sopra descritte.

Livelli di pressione sonora simulati in corrispondenza della Configurazione ante-operam

AREA 1 - ante-operam								Globale A	
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	58.8	59.6	65.1	65.6	64.2	63.4	64.6	60.2	70.9
2	61.4	62.3	68.3	68.9	67.5	66.8	68.6	65.4	74.6
3	61.7	62.5	67.5	67.9	66.6	65.9	67.4	63.3	73.5
4	62.2	63.1	67.4	67.7	66.9	66.3	67.2	64.1	73.6
5	61.9	62.7	65.7	66.1	66.2	65.5	66.6	62.7	72.7
6	64.4	65.2	68.9	69.2	69.3	68.8	70.6	67.2	76.3
7	63.5	64.2	69.5	70.1	68.8	68.3	70.8	67.1	76.2
8	64.2	64.8	70.2	70.8	69.8	69.4	72.1	68.5	77.4
9	57.7	58.5	64.3	64.9	63.4	62.6	63.8	59.7	70.1
10	60.9	61.7	66.4	66.7	65.7	65	66.1	62.2	72.4
11	60.7	61.8	65.1	65.6	65.8	65.2	65.9	61.7	72.2

AREA 2 - ante-operam								Globale A	
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
30	62.5	64.8	69.7	70.3	67.3	66.5	70	71.3	76.1
31	70.3	70.9	75.7	76	76.1	76.1	80.3	77.3	84.7
32	67.8	68.7	73.6	74.5	73.7	73.1	76.4	74.1	81.5
33	68	68.2	74.5	75	75.8	74.9	77.2	72.5	82.5
34	63.2	64.4	69.3	70	67.8	67.3	71.1	70.3	76.4
35	67.4	67.6	72.2	73.3	72.6	72.4	76.5	73	81.0

AREA 3 - ante-operam								Globale A	
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	59.7	58.7	66.4	66.9	69.5	68.7	69.9	63.4	75.5
2	61	60	66.8	67.3	69	67.9	68.6	62.1	74.7
3	58.4	56.9	63.4	63.9	65.5	64.3	64.2	57.8	70.9
4	59.2	57.6	64	64.4	65.9	64.7	64.4	58.4	71.3
5	61.2	60	66.5	66.9	68.3	67.1	67.4	61.4	73.9
6	62.8	61.8	68.7	69.1	71	69.9	71	64.8	76.9
7	60.7	59.7	67.5	67.9	70.6	69.9	71.4	65	76.8
8	65.6	64.7	72.1	72.3	74.7	73.8	75.4	69.5	80.9
9	63.8	62.8	69.3	69.7	71.2	70.2	70.9	65.8	77.1
10	60.9	59.5	66	66.3	67.9	66.6	66.8	61	73.4
11	61.3	59.5	65.9	66.4	68.2	67.1	67	61.4	73.7

AREA 4 - ante-operam								Globale A	
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
32	67.7	67.2	73.5	74	75.8	74.7	76.5	71.1	82.0
33	69.2	69	74.6	74.9	75.6	74.8	75.9	70.1	81.8
34	66.1	65.8	71.6	71.8	72.9	71.8	72.5	68	78.8
35	70.2	69.9	76.1	77.1	79	78.1	80.9	74	85.7

Individuazione di possibili strategie di intervento

I risultati di tutte le indagini effettuate hanno evidenziato come il contributo del rumore prodotto dagli impianti tecnologici presenti nello stabilimento sia particolarmente rilevante rispetto al contributo delle specifiche attività di lavoro. Questo perché gli impianti tecnici sono collocati ad un'altezza tale da farle risultare particolarmente impattanti zone molto più ampie, rispetto alle macchine della produzione che sono concentrate in una specifica area dello stabilimento e posizionate al livello del pavimento, risultando pertanto maggiormente schermate. Ciò premesso, la strategia di mitigazione acustica riguarda interventi specifici alle sorgenti impiantistiche (principalmente riscaldamento e aspirazione polveri) e segregazione dell'area in cui sono concentrate le macchine a controllo numerico.

FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

Definizione delle tipologie di intervento

In accordo alle strategie di intervento proposte al Committente, sono state valutate le seguenti tipologie di intervento.

- Interventi sulle sorgenti impiantistiche:
 - a) Intervento sull'impianto di riscaldamento;
 - b) Intervento sull'impianto di aspirazione polveri e immissione aria di reintegro.
- Interventi di segregazione dell'area macchine CNC.

Fattibilità tecnica

I principali vincoli riscontrati per la realizzazione degli interventi ipotizzati riguardano:

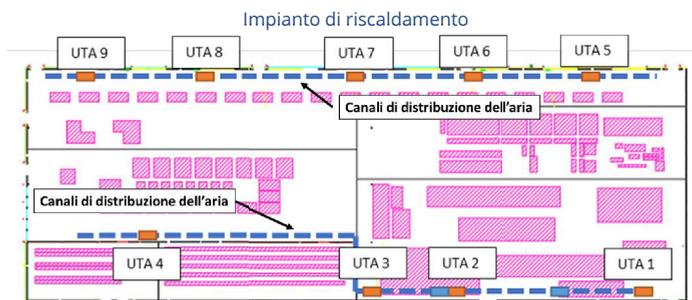
- elevate velocità dell'aria dell'impianto di aspirazione polveri al fine di mantenere sufficientemente efficiente il sistema;
- elevati standard richiesti per la pulizia e manutenzione nel tempo;
- elevata resistenza meccanica per evitare il danneggiamento da impatto accidentale.

Definizione degli interventi

f) Interventi sull'impianto di riscaldamento

L'impianto di riscaldamento è composto da n. 9 UTA dislocate all'interno dello stabilimento lungo le pareti perimetrali. Un sistema di canali forati perimetrali, permette di distribuire l'aria trattata. Nella configurazione ante-operam durante i periodi di attivazione, tutte le UTA mantenevano il medesimo regime di funzionamento, per cui la pressione interna ai canali era sempre costante e continuativa nel tempo, in modo da assicurare la copertura del lancio dell'aria fino a metà della profondità dello stabilimento (50 metri).

Impianto di riscaldamento



Al fine di diminuire la rumorosità del suddetto impianto, sono state effettuate opportune regolazioni che consistono principalmente nel determinare l'idonea riduzione della velocità di rotazione dei ventilatori all'interno delle UTA, fino ad individuare il limite minimo di pressione interna ai canali necessario per garantire il corretto comfort termico all'interno dello stabilimento. Nella configurazione ante-operam la pressione interna ai canali risultava essere pari a 320 Pa, la configurazione post operam ha consentito di ridurre la pressione interna dei canali fino al valore di 250 Pa. Come conseguenza di ciò si è determinata la riduzione della velocità dell'aria all'interno dei canali e pertanto anche una riduzione dell'energia sonora emessa dai canali stessi, che era risultata non trascurabile dall'analisi ante operam.

g) Interventi sull'impianto di aspirazione polveri e immissione aria di reintegro

Nella configurazione ante-operam i gruppi di immissione aria di reintegro sono costituiti da tre scambiatori posti all'interno allo stabilimento, dotati di motori a giri fissi, mentre i gruppi di aspirazione polveri sono composti da un ventilatore ad inverter a giri variabili e un ventilatore a giri fissi. Questa configurazione, indipendentemente dal numero di macchine della produzione effettivamente funzionante, per l'immissione aria, determina un range di funzionamento costante pari al 100% della potenza nominale, mentre per l'aspirazione polveri il range di funzionamento si attesta dal 70% al 100% della potenza nominale dell'impianto. Tale range di regolazione è controllato da un software in maniera automatica.

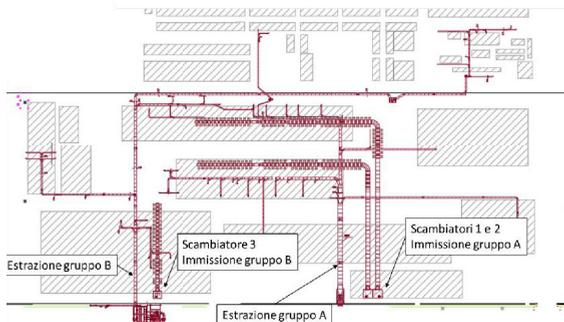
Indipendentemente dal numero di macchine in funzione, il livello sonoro minimo presente nello stabilimento è dato dal funzionamento costante dell'impianto di immissione aria e dal funzionamento minimo del 70% dell'impianto di aspirazione polveri.

INTERVENTI SULL'IMPIANTO DI ASPIRAZIONE POLVERI

- Installazione sul 2° motore di inverter di regolazione su entrambi i gruppi di aspirazione, al fine di consentire la parzializzazione di tutte le portate d'aria richieste e dotazione di un sistema di controllo apertura bocche di aspirazione automatico per pulizia dei canali ed attivazione dell'aspirazione delle macchine della produzione. Questo intervento consentirà di variare il range di funzionamento dell'impianto dall'attuale 70-100% ad un 35-100%, con conseguente diminuzione significativa del rumore prodotto dall'impianto in funzione dell'effettivo fabbisogno di aspirazione.

INTERVENTI SULL'IMPIANTO DI IMMISSIONE ARIA

- Installazione di inverter di regolazione sugli scambiatori, al fine di consentire la parzializzazione di tutte le portate. Mentre nella condizione attuale l'impianto è del tipo ON/OFF, l'intervento consentirà, attraverso una regolazione manuale, di determinare il range di funzionamento più opportuno in funzione delle condizioni ambientali e di lavoro, con conseguente diminuzione dei livelli sonori da esso prodotti.

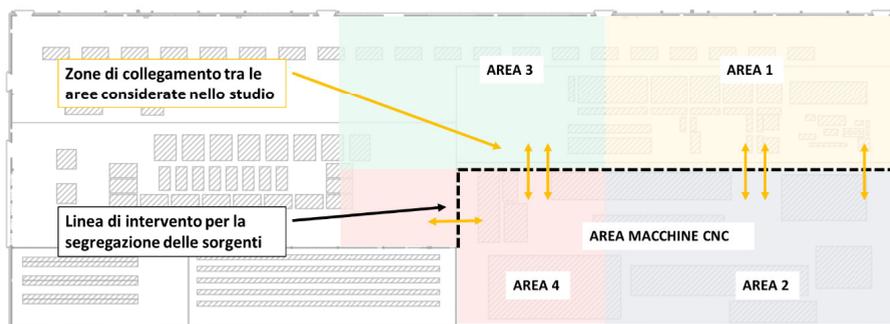


h) Segregazione dell'area macchine CNC

Il progetto ha previsto la verifica di quattro soluzioni alternative tra loro:

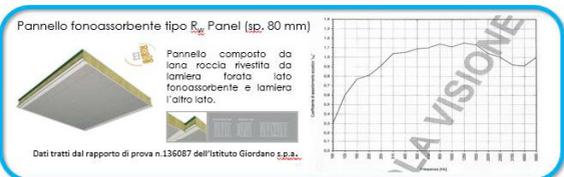
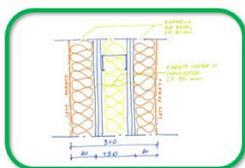
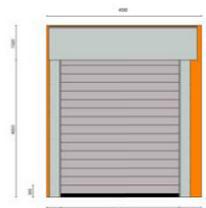
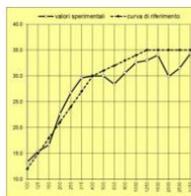
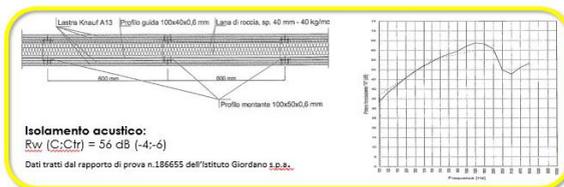
- ipotesi 1: segregazione totale dell'area macchine CNC mediante una parete fonoisolante/fono-assorbente bifacciale, intervallata da saracinesche avvolgibili, collocate nelle zone di passaggio tra le varie aree funzionali dello stabilimento;
- ipotesi 2: segregazione semitotale mediante la realizzazione di una parete fonoisolante/fono-assorbente bifacciale, intervallata da saracinesche avvolgibili, fino alla trave in c.a. della pilastrata centrale, pertanto vengono lasciati aperti gli spazi tra la suddetta trave e la copertura a shed;
- ipotesi 3: segregazione parziale mediante l'installazione di una parete fonoisolante/fono-assorbente bifacciale di altezza 4 metri, intervallata da saracinesche avvolgibili.
- ipotesi 4: segregazione semitotale mediante la realizzazione di una parete fonoisolante/fono-assorbente bifacciale (altezza fino alla trave) e aperture lungo la linea di intervento, in corrispondenza dei 6 principali punti di attraversamento dell'area.

Indicazione del perimetro dell'area da segregare e dei punti di attraversamento delle aree



La parete acustica considerata è composta da una parte centrale in doppia lastra di cartongesso dove vengono applicati da entrambi i lati pannelli fono-assorbenti in lana di roccia con finitura in lamiera forata. La saracinesca insonorizzata considerata nello studio è tipo Hormann HS 5015 Acoustic H con profili cavi in alluminio riempiti con telo in PVC da 5 mm e materassino in schiuma PU da 30 mm.

Indicazione delle soluzioni tecniche indicate nel progetto acustico



1. Verifica acustica di progetto degli interventi

Interventi sull'impianto di riscaldamento

Descrizione:

Non sono state effettuate simulazioni acustiche degli interventi di regolazione dell'impianto di riscaldamento, ma solo misure di efficacia acustica dei suddetti interventi (v. punto 27).

Interventi sull'impianto di aspirazione polveri e immissione aria di reintegro

Descrizione:

La stima di massima della riduzione dei livelli di potenza e pressione sonora, in funzione della riduzione della velocità di aria che si otterranno con gli interventi di progetto, è stata fatta a partire dai risultati di una campagna di misure intensimetriche e fonometriche effettuate in corrispondenza del solo impianto di aspirazione polveri. Tali misure sono state effettuate contestualmente alla rilevazione in situ delle velocità dell'aria nei canali in esame.

Misure intensimetriche - Livelli di potenza sonora dei canali di aspirazione polveri in funzione delle velocità dell'aria

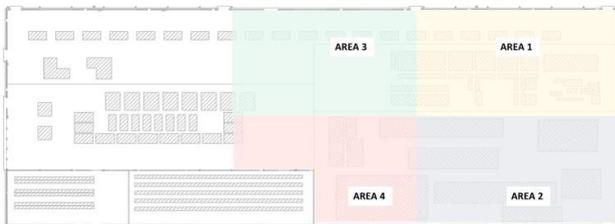
Impianto	Posizione	Superficie della sorgente in esame			Tipo di configurazione	Livelli di Potenza sonora [Lw]		Velocità dell'aria nei canali		Percentuale di riduzione della velocità dell'aria (%)	Riduzione di L_{eq} [dB(A)]
		Diámetro canale (m)	Lunghezza (m)	Superficie (m²)		Globale (dB)	Globale [dB(A)]	Velocità dell'aria (m/s)	Velocità [dB(A)]		
Gruppo Estrazione polveri A	canale principale diametro 1120mm	1,12	1	3,5	1	70,2	68,7	13,58	0	-	-
		1,12	1	3,5	2	73,0	62,1	11,71	13,8	-	6,5
		1,12	1	3,5	3	73,0	65,1	9,95	26,7	-	7,6
	canale derivazione diametro 600mm	0,6	1	1,9	1	73,8	64,1	20,60	0	-	-
		0,6	1	1,9	2	66,2	60,5	15,58	24,4	-	3,6
		0,6	1	1,9	3	67,4	58,6	12,87	37,5	-	10,5
Gruppo Estrazione polveri B	canale principale diametro 600mm	0,65	1	2,0	1	72,6	59,5	21,60	0	-	-
		0,65	1	2,0	2	66,8	53,5	14,87	31,4	-	6,0
		0,65	1	2,0	3	63,0	52,7	13,86	36,1	-	6,8
	canale derivazione diametro 400mm	0,4	1	1,3	1	63,1	56,1	16,39	0	-	-
		0,4	1	1,3	2	64,5	49,2	11,57	23,4	-	6,9
		0,4	1	1,3	3	65,3	48,4	10,46	35,6	-	7,7

Come si osserva nella tabella accanto, si possono stimare riduzioni significative del livello di potenza sonora, fino a 10 dB(A), riducendo la velocità dell'aria fino al 37%, rispetto alla configurazione nominale. In generale si può stimare una riduzione di circa 6 dB(A) in corrispondenza di una riduzione della velocità compresa tra il 15 e il 30%, in funzione del diametro del canale.

L'attenuazione stimata in alcune postazioni centrali dello stabilimento, ad altezza 1.5 m dal pavimento, in corrispondenza dei diversi regimi di funzionamento dell'impianto di aspirazione polveri, sono i seguenti:

- la configurazione 2 per il gruppo A consente di ridurre la rumorosità di circa 3-4 dB(A);
- la configurazione 2 per il gruppo B consente di ridurre la rumorosità di circa 6-7 dB(A);
- la configurazione 3 per il gruppo A consente di ridurre la rumorosità di circa 6-7 dB(A);
- la configurazione 3 per il gruppo B consente di ridurre la rumorosità di circa 7-8 dB(A).

Interventi di segregazione dell'area macchine CNC



AREA 1 - energia globale (impianti + macchine della produzione)							
Punto rk.	Ante-operam	Post-operam 1 - (tutto chiuso)		Post-operam 2 (tutto chiuso, sopra aperto)		Post-operam 4 (parete e aperture passaggi)	
		Laeq [dB(A)]	Attenuazione (post-ante)	Laeq [dB(A)]	Attenuazione (post-ante)	Laeq [dB(A)]	Attenuazione (post-ante)
1	71.5	59.9	-11.5	63.2	-8.2	67.2	-4.2
2	74.8	56.0	-18.8	63.8	-11.0	70.8	-4.1
3	74.0	61.3	-12.7	65.6	-8.4	69.7	-4.2
4	74.1	60.5	-13.6	67.6	-6.5	69.2	-4.9
5	73.2	60.9	-12.2	65.8	-7.4	67.0	-6.2
6	76.5	58.5	-18.1	66.7	-7.8	68.2	-8.3
7	76.6	58.8	-17.8	65.6	-11.0	72.7	-3.8
8	77.6	59.2	-18.5	67.0	-10.6	72.1	-4.5
9	70.7	59.3	-11.5	62.4	-8.3	66.8	-3.9
10	72.9	61.1	-11.8	65.9	-7.0	68.7	-4.2
11	72.9	63.3	-9.6	66.8	-6.1	67.9	-5.0

AREA 2 - energia globale (impianti + macchine della produzione)							
Punto rk.	Ante-operam	Post-operam 1 - (tutto chiuso)		Post-operam 2 (tutto chiuso, sopra aperto)		Post-operam 4 (parete e aperture passaggi)	
		Laeq [dB(A)]	Attenuazione (post-ante)	Laeq [dB(A)]	Attenuazione (post-ante)	Laeq [dB(A)]	Attenuazione (post-ante)
30	76.3	76.1	-0.3	76.2	-0.2	76.1	-0.2
31	84.8	84.4	-0.5	84.3	-0.5	84.3	-0.5
32	81.9	81.7	-0.2	81.8	-0.1	81.7	-0.2
33	82.7	82.5	-0.2	82.6	-0.1	82.5	-0.2
34	76.6	76.5	-0.1	76.7	0.1	76.5	-0.1
35	81.3	81.3	0.0	81.2	-0.1	81.0	-0.2

Descrizione:

Le simulazioni volte a definire i benefici acustici degli interventi di progetto sono state effettuate in corrispondenza delle quattro ipotesi di progetto e considerando tre distinte configurazioni di sorgenti attive:

- 1) macchine della produzione e bocche di aspirazione.
 - 2) impianti tecnici;
 - 3) macchine della produzione e bocche di aspirazione + Impianti tecnici.
- Per brevità qui si riportano i risultati delle simulazioni relativi alla configurazione 3 (macchine+impianti).

Post-operam 1 (totale segregazione)

- In corrispondenza della totale segregazione delle aree 2 e 4, le attenuazioni simulate sono pari a circa 10-18 dB(A) nell'area 1 e pari a circa 13-25 dB(A) nell'area 3.
- Lo scenario simulato, in termini di sorgenti, risulta più realistico, pertanto le attenuazioni calcolate risultano essere quelle più vicine a quelle effettivamente misurabili.

AREA 3 - energia globale (impianti + macchine della produzione)							
Punto ric.	Ante-operam	Post-operam 1 - (tutto chiuso)		Post-operam 2 (tutto chiuso, sopra aperto)		Post-operam 4 (parete aperture passaggi)	
		Laeq [dB(A)]	Attenuazione (post-ante)	Laeq [dB(A)]	Attenuazione (post-ante)	Laeq [dB(A)]	Attenuazione (post-ante)
1	75.6	56.5	-19.2	67.4	-8.3	68.9	-6.7
2	75.0	60.4	-14.6	65.4	-9.5	68.9	-6.1
3	71.2	57.9	-13.3	60.5	-10.7	64.9	-6.3
4	71.5	56.4	-15.1	59.7	-11.8	65.0	-6.5
5	74.1	59.0	-15.1	63.7	-10.4	67.9	-6.3
6	77.0	57.3	-19.7	66.3	-10.7	70.5	-6.5
7	76.9	54.4	-22.5	67.7	-9.2	69.5	-7.3
8	80.9	54.9	-26.0	69.8	-11.2	73.1	-7.8
9	77.2	55.7	-21.5	65.2	-12.0	71.0	-6.2
10	73.6	56.2	-17.4	61.3	-12.3	67.0	-6.6
11	73.8	53.7	-20.1	60.2	-13.6	66.7	-7.1

AREA 4 - energia globale (impianti + macchine della produzione)							
Punto ric.	Ante-operam	Post-operam 1 - (tutto chiuso)		Post-operam 2 (tutto chiuso, sopra aperto)		Post-operam 4 (parete aperture passaggi)	
		Laeq [dB(A)]	Attenuazione (post-ante)	Laeq [dB(A)]	Attenuazione (post-ante)	Laeq [dB(A)]	Attenuazione (post-ante)
32	82.1	81.5	-0.6	81.4	-0.7	81.3	-0.8
33	82.3	81.8	-0.4	81.9	-0.4	81.7	-0.6
34	79.1	78.2	-0.9	78.3	-0.8	78.1	-1.0
35	85.7	85.2	-0.6	85.2	-0.5	85.3	-0.5

- In questo scenario il rumore di fondo incide meno rispetto alla condizione in cui sono state considerate le sole macchine della produzione, in quanto è presente il rumore degli impianti anche nelle aree 1 e 3.
- La presenza di ulteriori sorgenti nelle aree 1 e 3, non considerate nel presente studio, certamente possono ridurre le attenuazioni sopra indicate.

Post-operam 2 (semitotale segregazione)

- Anche in corrispondenza della semitotale segregazione delle aree 2 e 4, le attenuazioni simulate sono pari a circa 6-11 dB(A) nell'area 1 e pari a circa 8-13 dB(A) nell'area 3.
- L'apertura delle zone in prossimità degli shed di copertura ha determinato una riduzione delle attenuazioni mediamente pari a 5-10 dB(A).

Post-operam 3 (parete altezza 4 m)

- Non è stato ritenuto necessario effettuare tale simulazione in quanto l'intervento in esame non è in grado di produrre alcuna attenuazione sul rumore prodotto dagli impianti, come dimostrano le simulazioni effettuate per le sorgenti relative alle macchine della produzione.

Post-operam 4 (semitotale segregazione con aperture)

- In corrispondenza della segregazione semitotale con aperture, a segregazione delle aree 2 e 4, le attenuazioni simulate sono pari a circa 4-6 dB(A) nell'area 1 e pari a circa 6-7 dB(A) nell'area 3.
- In questa configurazione le attenuazioni relativamente basse sono dovute principalmente al rumore che passa attraverso le aperture della copertura, oltre che dai passaggi tra le zone e al rumore degli impianti presenti nelle aree 1 e 3.
- In questa configurazione, l'isolamento acustico offerto dalla parete diventa trascurabile ai fini del calcolo delle attenuazioni acustiche.
- In generale nelle aree 2 e 4, la presenza del rivestimento fono-assorbente della segregazione, per tutte gli scenari di progetto esaminati, non determina incrementi dei livelli di rumore ivi presenti.

Analisi costo/beneficio

Non è stata realizzata una stima del costo/beneficio, ma una stima di massima del costo degli interventi proposti.

Stima dei costi degli interventi sulle sorgenti impiantistiche

Sorgente mitigata	Tipo di intervento realizzato/da realizzare	Stima dei costi di realizzazione (€)
Pompe del vuoto	Spostamento delle pompe per la produzione del vuoto in ambiente esterno	€ 45.000
Impianto di riscaldamento	Riduzione della velocità di rotazione dei ventilatori all'interno delle UTA	€ 5.000
Impianto di aspirazione polveri/	Installazione sul 2° motore di inverter di regolazione su entrambi i gruppi di aspirazione. Dotazione di un sistema di controllo apertura bocche di aspirazione automatico per pulizia dei canali ed attivazione dell'aspirazione delle macchine della produzione	€ 48.000
Impianto di immissione aria	Installazione di inverter di regolazione su tutti e tre gli scambiatori.	€ 22.500

Stima dei costi delle ipotesi degli interventi di segregazione

POST-OPERAM 1 (Parete completamente chiusa e n. 6 saracinesche fonoisolanti)				
ELEMENTO	Superficie (mq)	N.	Costo unitario €/cad o €/mq	Costo € (IVA esclusa)
Parete fonoisolante	1376		€ 60,00	€ 82.708,20
Rivestimento fonosorbente bifacciale	2757		€ 46,90	€ 129.300,49
Portelloni con saracinesca	14	6	€ 14.564,00	€ 87.384,00
TOTALE COSTO €				€ 299.392,69
POST-OPERAM 2 (Parete in battuta delle travi e n. 6 saracinesche fonoisolanti)				
ELEMENTO	Superficie (mq)	N.	Costo unitario €/cad o €/mq	Costo € (IVA esclusa)
Parete fonoisolante	1269		€ 60,00	€ 76.140,00
Parete fonosorbente	2538		€ 46,90	€ 54.034,00
Portelloni con saracinesca		6	€ 14.564,00	€ 87.384,00
TOTALE COSTO €				€ 202.558,00
POST-OPERAM 3 (Parete altezza 4 metri e n. 6 saracinesche fonoisolanti)				
ELEMENTO	Superficie (mq)	N.	Costo unitario €/cad o €/mq	Costo € (IVA esclusa)
Parete fonoisolante	580		€ 60,00	€ 34.800,00
Parete fonosorbente	1160		€ 46,90	€ 54.404,00
Portelloni con saracinesca		6	€ 14.564,00	€ 87.384,00
TOTALE COSTO €				€ 176.588,00
POST-OPERAM 4 (Parete in battuta delle travi con aperture ad intervalli)				
ELEMENTO	Superficie (mq)	N.	Costo unitario €/cad o €/mq	Costo € (IVA esclusa)
Parete fonoisolante	1033		€ 60,00	€ 62.085,60
Parete fonosorbente	2070		€ 46,90	€ 97.060,49
TOTALE COSTO €				€ 159.146,09

Procedure di collaudo acustico

Non sono state elaborate procedure di collaudo acustico.

INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

Progetto esecutivo

Non è stata effettuata la progettazione architettonica degli interventi.

DIREZIONE LAVORI

Conformità dei sistemi acustici

La Direzione Lavori relativa agli interventi eseguiti sugli impianti tecnologici è stata effettuata dal Committente.

Controllo dell'esecuzione degli interventi

La Direzione Lavori relativa agli interventi eseguiti sugli impianti tecnologici è stata effettuata dal Committente.

COLLAUDO ACUSTICO

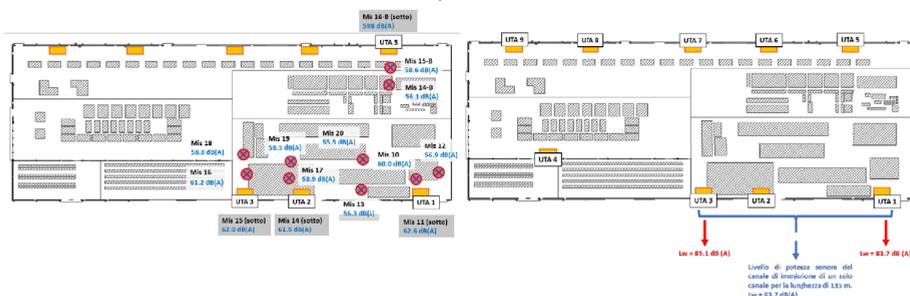
Verifica dell'efficacia acustica degli interventi

Gli interventi realizzati oggetto di verifica acustica sono i seguenti:

- intervento sull'impianto di riscaldamento;
- intervento sull'impianto di aspirazione polveri e immissione aria di reintegro.

La verifica acustica degli interventi realizzati è stata effettuata mediante il confronto con le misure fonometriche ed intensimetriche, effettuate in condizione ante-operam dei livelli di pressione sonora prodotti dalle sorgenti in punti standard dello stabilimento, L_{Aeq} dB(A).

Intervento sull'impianto di riscaldamento



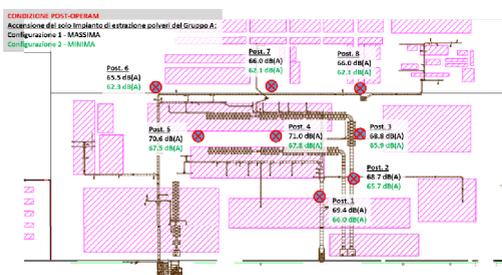
Osservazioni ai risultati delle misure del parametro L_{Aeq}

Nelle postazioni di misura fonometriche effettuate al di sotto delle terrazze delle UTA si sono riscontrati valori di pressione sonora circa di 61-62 dB(A). Nell'intorno dello stabilimento ad una distanza circa di 12-13 metri dalle UTA i valori sono risultati pari a circa 60-61 dB(A), mentre, ad una distanza di 25 metri dalle UTA pari a circa 58 dB(A). Come ulteriore approfondimento della configurazione post operam dell'impianto di riscaldamento, sono state effettuate misure di intensità sonora su alcune UTA canali di distribuzione e immissione aria, al fine di confrontarle con i risultati dell'ante-operam.

Le campagne di misura ante e post-operam differiscono per il funzionamento dell'impianto di aspirazione polveri, accesso durante la sessione di misure ante-operam e spento durante la sessione di misure post-operam. Tale condizione però non determina significative variazioni nel caso delle postazioni al di sotto delle UTA che risultano fortemente influenzate dai livelli prodotti da queste. In questi punti è possibile fare un confronto diretto tra i risultati ante e post-operam.

Nelle postazioni di misura al di sotto delle terrazze delle UTA l'intervento ha determinato un'attenuazione del livello equivalente di pressione sonora pari a circa 12 dB(A), mentre nelle altre zone, più distanti dall'impianto di aspirazione polveri, l'attenuazione è dell'ordine di circa 8 dB(A).

Indicazione delle postazioni di misura e dei livelli misurati



Livelli di pressione sonora misurati ante e post-operam in corrispondenza delle due configurazioni analizzate

Configurazione 1 - regime di funzionamento "massimo"			
Postazione di misura	L_{Aeq} dB(A)		Attenuazione dB(A)
	Ante-operam	Post-operam	
1	73,3	69,4	3,9
2	74,2	68,7	5,5
3	74,6	68,8	5,8
4	75,7	71	4,7
5	73,2	70,6	2,6
6	69,5	65,5	4
7	75,5	68,4	7,1
8	72	66	6
			ATTENUAZIONE MEDIA dB(A)
			5,0
Configurazione 2 - Regime di funzionamento "minimo"			
Postazione di misura	L_{Aeq} dB(A)		Attenuazione dB(A)
	Ante-operam	Post-operam	
1	70,5	66	4,5
2	70,3	65,7	4,6
3	71,4	65,9	5,5
4	72,1	67,8	4,3
5	69,3	67,5	1,8
6	65,3	62,3	3
7	70,2	64,8	5,4
8	67,3	62,1	5,2
			ATTENUAZIONE MEDIA dB(A)
			4,3

Osservazioni ai risultati delle misure del parametro L_{Aeq}

Dal momento che sono stati realizzati i medesimi interventi su entrambi i gruppi dell'impianto di aspirazione polveri, si è scelto di analizzare il solo gruppo A che era risultato essere significativamente più rumoroso del gruppo B nella configurazione ante-operam.

Ciò posto, l'analisi fonometrica è stata effettuata a produzione ferma, attivando il solo gruppo di aspirazione A in due configurazioni di utilizzo differenti:

- Configurazione 1: regime di funzionamento 'massimo', in grado di garantire un tiraggio adeguato al funzionamento di tutte le macchine della produzione (1400 giri, depressione > 350 Pa).
- Configurazione 2: regime di funzionamento 'minimo', in grado comunque di garantire un tiraggio adeguato al funzionamento di 1-2 macchine della produzione (1180 giri, depressione 280 Pa).

In corrispondenza del regime 'minimo', si è verificata un'attenuazione media pari a circa 4 dB(A); tale attenuazione media risulta sottostimata a causa della rumorosità rilevata nei punti 5 e 6 che, nella configurazione post-operam, sono risultati influenzati da una fonte di rumore diversa dall'impianto oggetto di analisi (erano presenti delle perdite di aria compressa su alcune macchine della produzione).

In corrispondenza del regime 'massimo', si è verificata un'attenuazione media pari a circa 5 dB(A); anche in questo caso l'attenuazione media risulta sottostimata a causa dei punti 5 e 6.

In linea di massima, nella configurazione ante-operam, i livelli sonori prodotti dal funzionamento del gruppo A di aspirazione polveri superavano i 70 dB(A), con punte di oltre 75 dB(A), nella quasi totalità dei punti esaminati, in entrambe le configurazioni di funzionamento. Gli interventi realizzati hanno consentito di ridurre i livelli sonori nei medesimi punti al di sotto dei 70 dB(A).

Intervento di segregazione dell'area macchine CNC

L'intervento non risulta ancora realizzato.

INFORMAZIONI GENERALI

Classificazione dell'ambiente:	1. Ambiente industriale
Comparto	Carpenteria metallica
Periodo di riferimento:	2017
Tipologia intervento di bonifica:	Modifica del layout
Superficie dell'ambiente (m ²):	2.200
Volume dell'ambiente (m ³):	28.000
Altezza media dell'ambiente (m):	13

FASE DI ANALISI

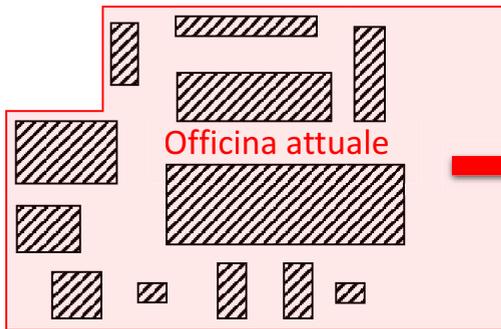
A.1 ANALISI DEL QUADRO CONOSCITIVO

Raccolta dati

- Piante, prospetti e sezioni dello stabilimento dove sono presenti le macchine oggetto di spostamento.
- Layout dello stabilimento dove sono presenti le macchine oggetto di spostamento.
- Piante, prospetti e sezioni dello stabilimento dove verranno installate le macchine e le postazioni di lavoro.
- Layout di progetto dello stabilimento con indicazione delle aree di produzione.

Raccolta informazioni dei processi produttivi

Zona 1 - Officina dove sono presenti le macchine e le postazioni di lavoro da spostare in altra area di lavoro



Zona 2 - Individuazione dell'area dello stabilimento destinata alla realizzazione della nuova officina di lavoro



Descrizione:

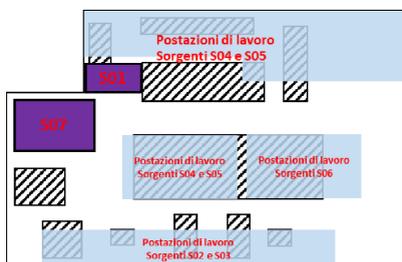
L'indagine acustica ha riguardato lo spostamento di macchine e postazioni di lavoro da un'area confinata a un'area inserita in un più ampio capannone industriale in cui sono collocate altre aree di lavoro. In particolare, osservando il layout di progetto si può notare la presenza di un'area uffici posta nelle immediate vicinanze della nuova area officina.

La nuova area di lavoro è inserita in un edificio costituito da una struttura portante in c.a. Le pareti perimetrali e la copertura sono composti da strutture miste: muratura, acciaio e pannelli sandwich.

Tale area è inserita all'interno di un ambiente di tipo aperto e in un contesto multi-sorgente; ciò determina una propagazione sonora pressoché diffusa in tutte le aree dello stabilimento con l'aggravante che la nuova area officina produrrà un aumento della rumorosità nelle aree circostanti ove si svolgono attività silenziose.

Sorgenti acustiche

Sorgenti oggetto di spostamento individuate nell'officina – Zona 1



- S01 – Motore dell'impianto di aspirazione polveri
- S02 – Pulitura saldatura mediante martelletto
- S03 – Taglio profili smerigliatrice
- S04 – Cleaning (utensile carta a vetro abrasiva)
- S05 – Cleaning (utensile testa metallica)
- S06_A – Cleaning (area liquidi penetranti)
- S06_B – Soffio aria compressa (area liquidi penetranti)
- S07 – Sabbiatrica

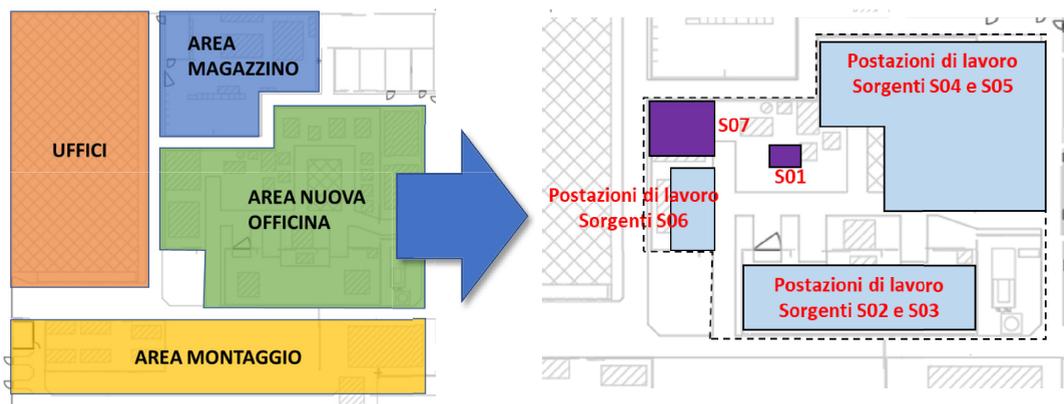
La classificazione delle sorgenti è indicata per tipologia di macchina o postazione di lavoro.

Nell'area sorgenti S04 e S05 ogni postazione di lavoro esegue queste due operazioni, mentre complessivamente sono presenti 14 postazioni.

Nell'area sorgenti S06 sono presenti 3 postazioni di lavoro.

Nell'area sorgenti S02 e S03 ogni postazione di lavoro esegue queste due operazioni, mentre complessivamente sono presenti 5 postazioni.

Layout di progetto della nuova area officina – Zona 2



Raccolta schede tecniche e manuali d'uso

Non è stata fornita da parte del committente alcuna scheda tecnica o manuale d'uso.

Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili

In considerazione dell'obiettivo dello studio, ovvero la riduzione del rumore diffuso in tutte le aree circostanti dove verrà realizzata la nuova officina, si è tenuto conto delle postazioni di lavoro così come indicato nel layout di progetto fornito dal committente.

Definizione dei descrittori e dei valori obiettivo

Descrittori utilizzati per lo studio acustico:

- tempo di Riverberazione, T_{30} (s), relativo alle diverse aree aventi caratteristiche simili in riferimento ad entrambi gli stabilimenti;
- rumore ambientale presente nell'area 1 dove sono collocate attualmente le macchine (L_{Aeq} [dB(A)]);
- rumore di fondo dell'area dove saranno installate le nuove macchine (L_{Aeq} [dB(A)]).

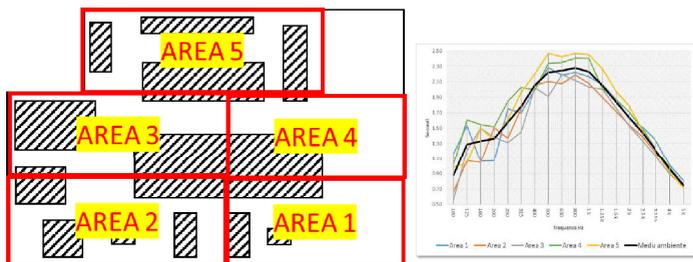
Individuazione degli obiettivi:

- rendere trascurabile l'impatto acustico della nuova area officina nei confronti delle aree circostanti.

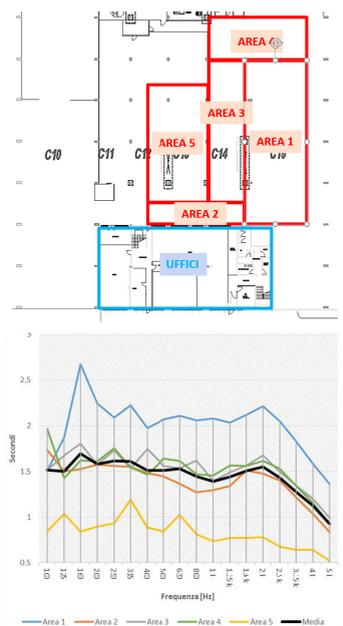
A.2 FASE DI ANALISI OPERATIVA - ACQUISIZIONE DATI

Misure di caratterizzazione dell'ambiente

Tempo di riverberazione, T_{30} (s) - Zona 1



Tempo di riverberazione, T_{30} (s) - Zona 2



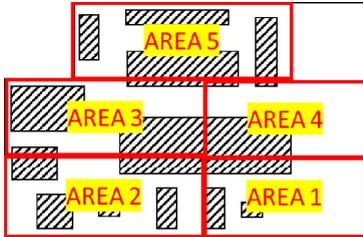
Descrizione:

Data la elevata volumetria e complessità si è ritenuto opportuno suddividere lo stabilimento in 5 aree differenti in cui sono state effettuate misure di tempo di riverberazione, considerando per ciascuna area almeno 3 postazioni sorgente e al minimo 3 postazioni microfoniche per ciascuna postazione sorgente. Tali aree sono state scelte sulla base dell'omogeneità volumetrica e materica. La misura del tempo di riverberazione è stata eseguita mediante la tecnica standard del dell'interruzione del rumore stazionario. Il tempo di riverberazione nella Zona 1 è stato eseguito al fine di poter effettuare la correzione del parametro K_2 (norma UNI EN ISO 3744:2010) per la caratterizzazione acustica delle sorgenti.

Il tempo di riverberazione nella Zona 2 è stato eseguito al di poter tarare il modello di simulazione acustica per poter simulare lo scenario relativo al nuovo layout dell'officina.

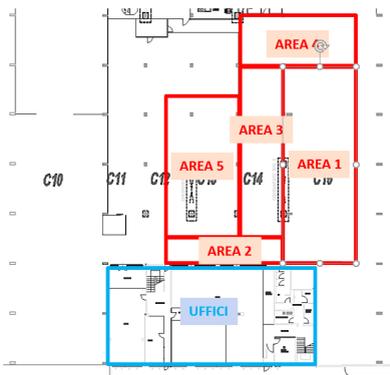
Misure di rumore di fondo

Livello di rumore di fondo della Zona 1



Frequenza [Hz]	Tutte le sorgenti -OFF-					Attività lavorativa normale				
	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5
50	62.8	56.0	58.4	58.5	57.6	73.5	79.9	82.4	76.6	79.4
63	57.0	55.0	54.1	55.0	52.9	69.0	68.5	71.2	70.0	72.0
80	56.6	52.8	52.0	53.5	52.8	68.6	68.7	73.4	70.7	71.6
100	60.5	58.2	56.9	60.2	56.5	70.4	69.5	74.9	71.7	72.7
125	60.2	58.3	57.3	58.9	56.8	69.2	69.4	70.1	70.4	71.2
160	59.0	57.0	56.1	57.9	56.2	68.8	70.4	72.4	71.3	70.4
200	62.8	60.2	57.8	58.5	57.3	68.4	69.7	70.1	71.4	71.3
250	62.0	60.2	58.3	59.2	57.5	69.6	69.8	70.8	71.3	72.4
315	62.5	59.8	58.1	58.2	58.0	68.9	70.0	69.6	70.8	71.9
400	59.9	60.9	56.6	56.9	55.1	68.6	69.6	69.8	71.4	72.9
500	58.9	60.2	57.5	57.3	54.6	70.8	72.3	72.7	73.1	76.3
630	60.5	60.3	58.8	57.6	55.1	69.9	70.1	71.8	71.0	74.5
800	58.7	58.4	56.0	56.2	53.9	72.0	72.7	78.5	78.1	79.7
1000	58.3	56.9	54.3	55.3	53.0	69.0	70.2	71.7	70.2	72.1
1250	56.2	56.2	53.2	54.3	52.0	67.5	67.8	68.6	68.2	71.3
1600	54.5	54.2	50.4	52.7	51.6	67.7	67.4	69.4	70.7	73.0
2000	52.4	51.9	47.4	50.8	46.6	65.5	65.0	67.0	68.0	69.5
2500	50.9	50.7	45.5	50.5	46.1	64.4	64.0	67.0	66.4	69.2
3150	48.9	48.9	43.5	48.4	46.1	65.7	62.7	66.6	66.4	69.2
4000	45.9	46.4	40.8	45.5	40.1	63.9	62.4	65.7	66.0	70.0
5000	43.3	44.4	38.5	46.3	37.8	64.3	60.6	67.7	66.0	70.1
Globale - A	66.9	66.5	63.8	64.6	62.3	78.6	78.8	81.8	81.6	83.9
Globale - Z	72.2	70.6	68.7	69.6	67.7	82.2	84.1	86.7	84.9	86.9

Livello di rumore di fondo della Zona 2



Livello di rumore misurato durante le normali attività

Frequenza [Hz]	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	media
50	58.1	57.8	58.5	63.2	59.8	60.0
63	57.1	56.2	58.3	54.4	52.8	56.2
80	56.0	52.7	56.1	53.1	52.0	54.3
100	54.5	54.4	56.6	55.8	50.5	54.8
125	53.8	51.5	59.2	55.4	48.7	55.1
160	53.1	51.1	52.1	54.8	50.1	52.6
200	53.0	49.6	53.8	54.4	51.2	52.7
250	53.3	54.7	57.1	58.4	50.7	55.6
315	54.6	53.5	54.9	55.6	50.0	54.1
400	52.1	50.5	52.7	55.5	48.5	52.5
500	52.6	51.7	54.5	54.4	47.7	52.8
630	51.9	51.0	52.5	53.4	47.0	51.6
800	49.7	48.7	52.5	51.1	47.4	50.2
1000	49.5	47.8	51.8	50.1	45.2	49.4
1250	47.6	46.8	49.9	48.1	44.4	47.7
1600	46.8	45.2	49.0	46.6	41.8	46.5
2000	45.4	43.3	48.7	45.8	40.0	45.5
2500	49.2	41.7	47.6	44.3	37.5	45.8
3150	41.8	39.2	47.9	41.7	34.6	43.1
4000	38.4	35.7	41.5	38.3	32.2	38.2
5000	36.2	33.1	43.6	36.2	30.0	38.4
Globale - A	59.3	57.7	61.2	60.3	54.8	59.2
Globale - Z	65.9	64.8	67.5	67.9	63.6	66.3

Come si può osservare dai risultati delle misure, il livello di rumore misurato nella nuova area in cui verrà collocata la nuova officina, durante le attività di lavoro, sono inferiori al livello di rumore di fondo presente nella zona in cui è attualmente collocata l'officina stessa. Ciò determina una potenziale criticità nei confronti delle aree limitrofe all'area di progetto.

Misure degli impianti tecnici

Non sono presenti impianti tecnici significativi ai fini acustici.

Mappatura acustica dello stabilimento

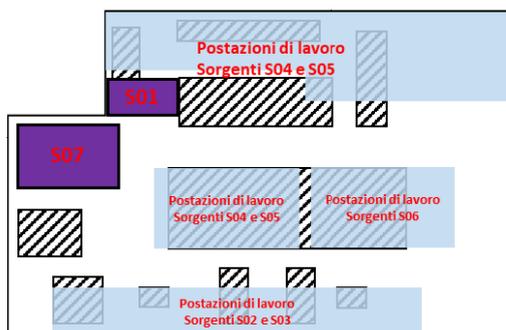
Non è stata effettuata la mappatura acustica dello stabilimento.

Analisi delle vibrazioni

Dall'analisi delle sorgenti individuate al punto 3, è emerso che la principale componente rumorosa è costituita da rumore aereo, pertanto non è stata effettuata alcuna indagine sulla propagazione delle vibrazioni per via strutturale.

Caratterizzazione acustica delle sorgenti

Sorgenti caratterizzate nella Zona 1



Frequenza [Hz]	Livelli di Potenza sonora							
	S01	S02	S03	S04	S05	S06_A	S06_B	S07
50	107.5	89.8	81.2	85.2	84.9	87.8	86.8	98.6
63	88.9	81.7	83.2	79.5	80.8	84.5	82.6	84.1
80	88.1	86.5	82.5	81.7	82.1	84.7	83.0	83.1
100	91.6	84.3	83.3	81.5	82.2	82.8	82.0	84.9
125	86.1	87.6	84.0	82.3	83.2	83.7	82.8	85.5
160	88.6	99.5	83.9	81.1	82.9	81.9	81.3	86.2
200	84.1	89.3	84.2	81.2	83.3	82.1	82.4	85.3
250	86.1	84.7	84.4	80.6	83.7	82.8	80.3	86.3
315	85.5	99.0	84.6	84.9	86.5	85.9	85.1	91.7
400	88.9	92.8	85.3	85.9	86.7	87.2	86.9	87.7
500	91.7	92.6	89.0	82.5	84.3	90.6	88.3	85.5
630	87.4	95.3	88.6	84.0	84.7	93.3	94.4	87.1
800	86.1	96.3	88.5	101.2	97.7	89.4	84.8	86.8
1000	87.1	96.1	91.6	87.0	88.0	92.1	86.5	84.8
1250	82.6	96.4	96.0	82.1	82.1	98.7	87.9	84.7
1600	81.2	95.0	98.3	86.5	83.1	96.8	86.0	83.1
2000	80.8	96.9	96.7	79.6	83.3	99.2	88.2	81.3
2500	81.7	98.8	101.1	82.3	83.2	100.3	90.2	81.6
3150	83.0	101.3	106.3	84.4	85.6	101.9	93.0	79.5
4000	80.0	101.1	105.2	85.8	87.8	103.4	93.6	79.0
5000	74.5	103.1	104.1	88.0	86.6	104.6	92.8	77.5
Globale - A	95.6	109.8	112.2	101.6	99.5	111.0	101.5	94.9
Globale - Z	108.2	110.1	111.3	102.6	100.7	110.3	101.9	101.5

Descrizione:

Il livello di potenza sonora e la direttività delle sorgenti oggetto di indagine sono stati calcolati in accordo alla metodologia riportata nella norma UNI EN ISO 3744:2010, a partire da misure fonometriche effettuate in prossimità della sorgente in normali condizioni di utilizzo.

Il fattore di correzione ambientale K_2 , che tiene conto della riverberazione dell'ambiente in cui si trovano le sorgenti, è stato determinato attraverso misure di tempo di riverberazione di cui al punto 7.

Al fine di valutare le condizioni di massima rumorosità presenti nello stabilimento, in generale per la caratterizzazione acustica delle sorgenti che producono rumore discontinuo come martello, avvitatore, trapano, ecc., non è stata considerata l'intera misura, ma la sola parte relativa ai momenti effettivi di rumore prodotto da tali sorgenti. Ciò permette cautelativamente di valutare i livelli di rumore massimi presenti nello stabilimento al momento dell'attivazione delle sorgenti, generalmente più elevati di circa 3 dB(A) rispetto a considerare il livello medio relativo alla durata della lavorazione.

Misure di vibrazione

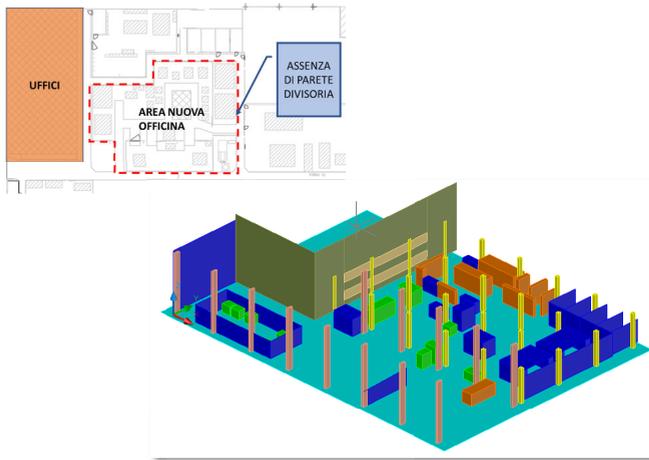
Si veda il punto 11.

Rilievo geometrico e materico dello stabilimento

La geometria dello stabilimento relativa all'area di progetto è stata ricostruita a partire dagli elaborati grafici forniti dal committente, previa verifica a campione di alcuni elementi in esso presenti. È stato inoltre effettuato un rilievo geometrico e materico dei principali elementi di arredo (aree di stoccaggio dei materiali, ecc.), dei cabinati e delle sorgenti caratterizzate da un volume acusticamente significativo.

Costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente

Modello tridimensionale dello stabilimento scenario Post-operam 0



Descrizione:

Lo Scenario Post-operam 0 è caratterizzato dall'assenza completa di pareti di separazione tra la nuova officina e le aree circostanti dello stabilimento. Tale scenario verrà utilizzato al fine di valutare le attenuazioni prodotte dalle varie configurazioni di progetto proposte.

Gli scenari Post-operam contenenti gli interventi di miglioramento acustico vengono confrontati con lo scenario Post-operam 0 (a fianco raffigurato) rappresentativo del layout di progetto della nuova officina, privo di interventi. La simulazione acustica ha tenuto conto del rumore di fondo mediamente rilevato durante la fase di analisi (si veda punto 8).

Validazione del modello di calcolo

La validazione del modello acustico è stata effettuata mediante il confronto dei tempi di riverberazione medi misurati e simulati in ciascuna delle aree in cui è stato idealmente suddiviso lo stabilimento. Nel grafico sotto riportato è presente il confronto tra il T_{30} medio misurato e simulato nell'intera area di produzione. Il modello è stato ritenuto validato in quanto le differenze medie tra i valori misurati e simulati sono risultate al di sotto del 5%.

Confronto dei Tempi di riverberazione												
Hz	Area 1		Area 2		Area 3		Area 4		Area 5		TOT media	
	Misurato	Simulato	Misurato	Simulato								
125	2.02	2.01	1.59	1.46	1.67	1.72	1.67	1.66	0.93	1.18	1.57	1.61
250	2.19	2.20	1.56	1.60	1.61	1.96	1.64	1.90	1.00	1.17	1.60	1.77
500	2.05	1.98	1.43	1.42	1.61	1.70	1.57	1.63	0.89	1.06	1.51	1.56
1k	2.06	2.03	1.30	1.48	1.50	1.80	1.50	1.75	0.76	1.00	1.42	1.61
2k	2.13	2.00	1.46	1.40	1.58	1.73	1.57	1.57	0.70	1.06	1.49	1.55
4k	1.59	1.44	1.03	0.85	1.18	1.11	1.14	0.93	0.58	0.76	1.10	1.02



Sorgenti acustiche inserite nel modello



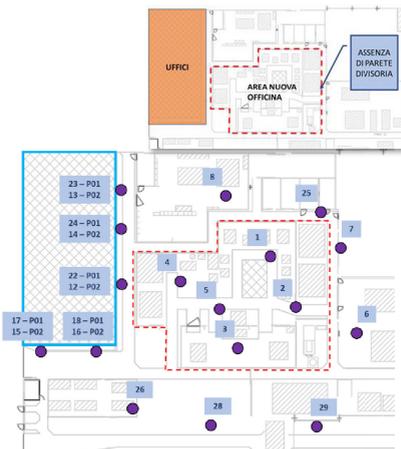
Descrizione:

Le sorgenti acustiche, attualmente posizionate nella Zona 1, sono state inserite nel nuovo layout di progetto. Dall'analisi dello scenario dell'officina Zona 1 si è potuto verificare che la condizione di attivazione contemporanea di tutte le principali sorgenti si verifica assai di rado. Ciò posto, sono state considerate attive contemporaneamente circa l'80% di tutte le sorgenti presenti.

L'unica sorgente di rumore a funzionamento continuo è il sistema di aspirazione polveri, rappresentato dalla sorgente S01 e dall'energia sonora delle bocchette delle relative postazioni. Di seguito l'elenco delle sorgenti inserite.

- S01 Aspiratore
- S02 Pulitura saldatura mediante martelletto
- S03 aglio profili smerigliatrice
- S04 Cleaning (utensile carta a vetro abrasiva)
- S05 Cleaning (utensile testa metallica)
- S06_A Cleaning (area liquidi penetranti)
- S06_B Soffio aria compressa (area liquidi penetranti)
- S07 Sabbiatrica

Calcolo dei livelli di pressione sonora nei punti ricettori corrispondenti allo scenario Post operam 0



Individuazione dei ricettori	Ric.	Globale A
interno Officina	1	89.2
	2	90.6
	3	91.8
	4	88.6
	5	89.9
Intorno locale	6	83.3
	7	86.7
	8	84.2
esterno ufficio P02	12	87.6
	13	84.0
parete laterale esterno ufficio P02	14	85.9
	15	83.6
Parete laterale esterno ufficio P01	16	85.0
	17	83.3
esterno ufficio P01	18	84.6
	22	87.6
	23	82.2
	24	85.5
intorno locale	25	85.4
	26	83.6
Zona montaggio	27	89.0
	28	87.4
	29	87.4

Descrizione:

I risultati delle simulazioni acustiche mostrano livelli di pressione sonora superiori a 80 dB(A), anche nelle zone più distanti dalle sorgenti relative alla nuova area officina.

Tale condizione determina la necessità di utilizzo dei DPI da parte degli operatori presenti nelle zone diverse da quella oggetto di indagine, ove non sono presenti lavorazioni rumorose.

Individuazione di possibili strategie di intervento

I risultati della simulazione acustica mostrano come la rumorosità prodotta dalle attività dell'officina verso le aree adiacenti abbiano valori sempre superiori ad 80 dB(A), determinando di fatto l'obbligo da parte degli operatori delle altre aree di utilizzare opportuni DPI uditivi. Al fine di risolvere tale problema vengono proposte soluzioni che prevedono la chiusura parziale e/o totale dell'area della nuova officina mediante pannellature fonoisolanti e fono-assorbenti.

FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

Definizione delle tipologie di intervento

In accordo alle strategie di intervento, sono state valutate le seguenti tipologie di intervento.

Post-operam 1 - confinamento dell'area mediante una parete perimetrale fonoisolante e fono-assorbente (lato interno officina) di altezza pari a 5 m.

Post-operam 2 - confinamento dell'area mediante una parete perimetrale fonoisolante e fono-assorbente (lato interno officina) a tutta altezza.

Post-operam 3 - confinamento dell'area mediante una parete perimetrale di altezza variabile con l'obiettivo di ridurre maggiormente la propagazione del rumore verso le zone più sensibili determinate dal blocco uffici.

Post-operam 4 - medesimi interventi dello scenario post-operam 3 con l'aggiunta di una copertura fono-assorbente e fonoisolante nell'area dove sono presenti le sorgenti risultate più rumorose.

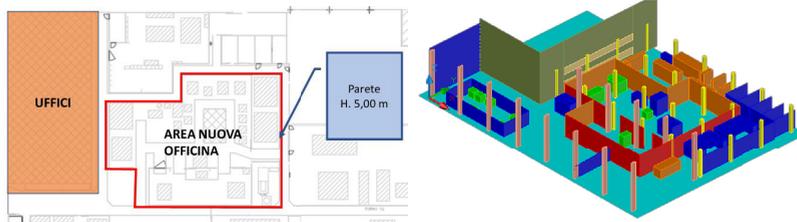
Fattibilità tecnica

Non sono stati indicati dal committente particolari vincoli tali da incidere sulle scelte progettuali acustiche ad eccezione dello scenario post-operam 2, per il quale si rende necessario l'introduzione di un sistema meccanico per il ricambio dell'aria.

Definizione degli interventi

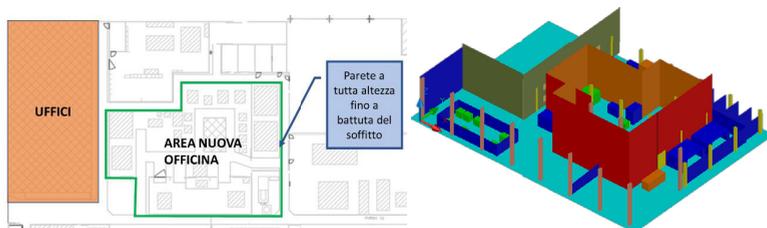
a) Post-operam 1

In questo scenario viene simulata la presenza di una parete continua di altezza pari a 5,00 metri. Lo scenario è stato simulato nella configurazione con portelli di accesso chiusi.



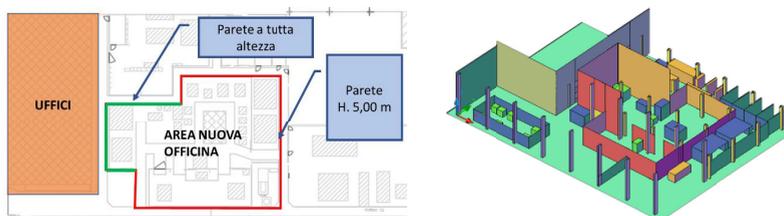
b) Post-operam 2

In questo scenario si prevede la chiusura completa dell'area officina. Lo scenario è stato simulato nella configurazione con portelli di accesso chiusi.



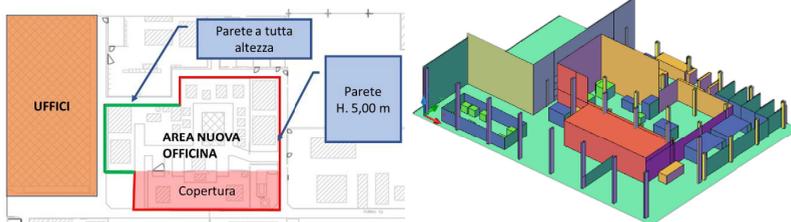
c) Post-operam 3

In questo scenario si prevede la presenza di una parete continua di altezza 5,00 metri lungo tre lati dell'officina, mentre, le pareti prospicienti gli uffici si prevedono a tutta altezza fino a chiusura con il soffitto. Lo scenario è stato simulato nella configurazione con portelli di accesso chiusi.



d) Post-operam 4

Questo scenario replica la configurazione post-operam 3 in cui si prevede la presenza di una parete continua di altezza 5,00 metri lungo tre lati dell'officina e le pareti vicine agli uffici a tutta altezza. In aggiunta, viene prevista una copertura fonoisolante/fono-assorbente corrispondente alla nuova area saldatura risultata essere quella maggiormente rumorosa. Lo scenario è stato simulato nella configurazione con portelli di accesso chiusi.



Caratteristiche acustiche e descrizione dei materiali adottati per gli scenari Post-operam

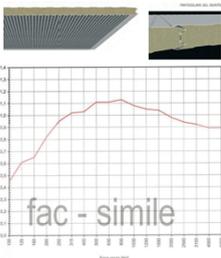
PANNELLI PER LA REALIZZAZIONE DELLE PARETI

Descrizione PANNELLI:

Pannelli fonoisolanti e fonoassorbenti (lato sorgente) tipo Italt pannelli MEC W.A. sp. 120 mm. Composti da un'anima in lana di roccia e lamiera di sp. 0,5 mm da entrambi i lati.

Caratteristiche tecniche:
 $R_w = 39$ dB (da laboratorio)
 $\alpha_w = 0,9$ classe A (ISO 354)

Frequenza [Hz]	Perdita [dB]	Perdita [dB]
100	28,4	
125	23,8	
160	22,1	
200	22,3	
250	19,7	
315	22,7	
400	37,3	
500	42,4	
630	44,5	
800	43,5	
1000	45,2	
1250	46,6	
1600	47,4	
2000	49,8	
2500	55,2	
3150	60,1	
4000	61,4	
5000	61,8	

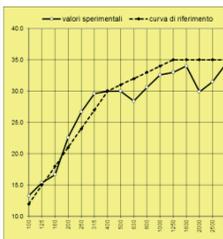
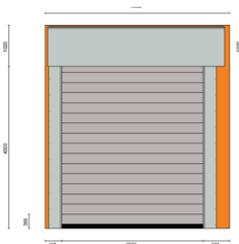


SARACINESCA PER L'ACCESSO ALL'AREA OFFICINA

Descrizione della saracinesca:

Saracinesca insonorizzata tipo Hormann HS 5015 Acoustic H con profili cavi in alluminio riempiti con telo in PVC da 5 mm e materassino in schiuma PU da 30 mm.

Caratteristiche tecniche:
 $R_w = 31$ dB (senza finestre)



Verifica acustica di progetto degli interventi

Post-operam 1 parete fonoassorbente lato interno (H.5,00 metri)			
Individuazione dei ricettori	Ric.	Globale A	Attenuazione post.0 - post.1
Interno Officina	1	88,3	0,9
	2	87,3	3,2
	3	92,7	0,1
	4	85,9	2,7
Intorno locale	5	86,1	3,8
	6	80,2	3,2
	7	79,5	7,2
	8	76,5	7,8
esterno ufficio P02	12	80,9	6,6
	13	76,5	7,5
parete laterale esterno ufficio P02	14	80,3	5,6
	15	77,3	6,3
Parete laterale esterno ufficio P01	16	78,4	6,6
	17	77,1	6,2
esterno ufficio P01	18	78,7	5,9
	22	80,6	7,0
	23	76,3	5,9
	24	79,4	6,1
intorno locale	25	77,2	8,2
	26	80,5	3,1
Zona montaggio	27	83,0	6,0
	28	84,2	3,2
	29	82,7	4,7



Scenario Post-operam 1:

Dai risultati ottenuti e dal confronto con lo scenario post-operam-0, i benefici di questo scenario mostrano attenuazioni comprese tra 4 e 7 dB in tutti i punti delle aree esterne all'officina. Un'eventuale modifica dell'altezza della parete pari a 1-2 metri non produce benefici significativi in quanto la maggior parte dell'energia sonora riflette sul soffitto dello stabilimento, attraverso la parete di separazione e si diffonde nelle altre aree.

Post-operam 2 tutto chiuso			
Individuazione dei ricettori	Ric.	Globale A	Attenuazione post.0 - post.2
Interno Officina	1	88.3	0.9
	2	88.1	2.5
	3	91.7	0.1
	4	85.2	3.4
	5	85.3	4.6
Intorno locale	6	59.2	24.1
	7	59.2	27.5
	8	59.2	25.0
	12	59.3	28.3
esterno ufficio P02	13	59.2	24.8
	14	59.3	26.2
parete laterale esterno ufficio P02	15	59.2	24.4
	16	59.2	25.8
Parete laterale esterno ufficio P01	17	59.2	24.1
	18	59.2	25.4
esterno ufficio P01	22	59.3	28.3
	23	59.2	23.0
intorno locale	24	59.3	28.2
	25	59.2	26.2
Zona montaggio	26	59.2	24.4
	27	59.4	29.6
	28	59.4	28.0
	29	59.2	28.1



Scenario Post-operam 2:

In questo scenario l'officina si configura come un ambiente totalmente chiuso. Tale condizione permette di ottenere attenuazioni significative nelle aree circostanti.

Infatti, dai risultati della simulazione si può osservare che i valori nei punti esterni all'area officina coincidono circa con i livelli di rumore presenti in questa area durante le normali attività di lavoro (si veda punto 8).

Questa condizione è determinata dal fatto che il livello di rumore sorgente prodotto dalle macchine della nuova officina che si propaga attraverso la parete fonisolante, è inferiore al rumore attualmente presente in questa area.

Post-operam 3 parete fonosorbente a tutta altezza lato uffici e H.5,00 metri gli altri lati			
Individuazione dei ricettori	Ric.	Globale A	Attenuazione post.0 - post.3
Interno Officina	1	88.2	1.0
	2	87.7	2.9
	3	91.7	0.2
	4	85.1	3.5
	5	85.1	4.8
Intorno locale	6	79.5	3.8
	7	79.2	7.6
	8	76.2	8.0
	12	74.2	13.3
esterno ufficio P02	13	74.5	9.5
	14	75.4	10.5
parete laterale esterno ufficio P02	15	77.3	6.3
	16	79.0	6.1
Parete laterale esterno ufficio P01	17	76.7	6.6
	18	78.7	5.9
esterno ufficio P01	22	74.2	13.4
	23	73.6	8.6
intorno locale	24	74.6	10.9
	25	77.4	8.1
Zona montaggio	26	79.9	3.8
	27	83.0	6.0
	28	84.0	3.4
	29	82.8	4.6



Scenario Post-operam 3:

Questo scenario riprende lo scenario post-operam 1, ottimizzando la protezione della direzione di propagazione verso il blocco uffici.

Osservando i risultati si può osservare come verso la facciata degli uffici si ottengano attenuazioni maggiori rispetto allo scenario post-operam 1 e pari a circa 8 - 13 dB(A), mentre nelle altre aree si possono osservare attenuazioni dell'ordine di 4 - 7 dB(A).

Post-operam 4 parete fonosorbente lato interno H.5,00 metri + copertura area saldatura			
Individuazione dei ricettori	Ric.	Globale A	Attenuazione post.0 - post.4
Interno Officina	1	88.1	-1.1
	2	87.5	-3.1
	3	91.9	-0.1
	4	84.9	3.7
	5	84.3	5.6
Intorno locale	6	74.7	8.6
	7	79.2	7.5
	8	75.9	8.3
	12	70.8	15.7
esterno ufficio P02	13	74.0	10.0
	14	74.6	11.3
parete laterale esterno ufficio P02	15	70.2	15.4
	16	70.6	10.4
Parete laterale esterno ufficio P01	17	69.2	14.0
	18	70.9	13.7
esterno ufficio P01	22	71.2	15.4
	23	73.2	9.0
intorno locale	24	73.3	12.2
	25	77.0	8.4
Zona montaggio	26	70.0	15.6
	27	71.7	15.3
	28	72.1	15.2
	29	73.0	14.3



Scenario Post-operam 4:

Questo scenario si configura come un incremento dello scenario post-operam 3, mediante l'inserimento di una copertura con caratteristiche acustiche pari a quelle delle pareti.

Osservando i risultati della simulazione si può individuare, rispetto allo scenario post-operam 3, un incremento dell'attenuazione pari a circa 2-4 dB(A) in tutte le aree.

Tabella di sintesi dei risultati delle simulazioni acustiche

Individuazione dei ricettori	Post-operam 0 area officina senza pareti di confine		Post-operam 1 parete fonoassorbente lato interno (H.5,00 metri)		Post-operam 2 tutto chiuso		Post-operam 3 parete fonoassorbente a tutta altezza lato uffici e H.5,00 metri gli altri lati		Post-operam 4 parete fonoassorbente lato interno H.5,00 metri + copertura area saldatura	
	Ric.	Globale A	Globale A	Attenuazione post.0 - post.1	Globale A	Attenuazione post.0 - post.2	Globale A	Attenuazione post.0 - post.3	Globale A	Attenuazione post.0 - post.4
interno Officina	1	89.2	88.3	0.9	88.3	0.9	88.2	1.0	88.1	1.1
	2	90.6	87.3	3.2	88.1	2.5	87.7	2.9	87.5	3.1
	3	91.8	91.7	0.1	91.7	0.1	91.7	0.2	91.9	-0.1
	4	88.6	85.9	2.7	85.2	3.4	85.1	3.5	84.9	3.7
	5	89.9	86.1	3.8	85.3	4.6	85.1	4.8	84.3	5.6
Intorno locale	6	83.3	80.2	3.2	59.2	24.1	79.5	3.8	74.7	8.6
	7	86.7	79.5	7.2	59.2	27.5	79.2	7.6	79.2	7.5
	8	84.2	76.5	7.8	59.2	25.0	76.2	8.0	75.9	8.3
esterno ufficio P02	12	87.6	80.9	6.6	59.3	28.3	74.2	13.3	70.8	16.7
	13	84.0	76.5	7.5	59.2	24.8	74.5	9.5	74.0	10.0
parete laterale esterno ufficio P02	14	85.9	80.3	5.6	59.3	26.6	75.4	10.5	74.6	11.3
	15	83.6	77.3	6.3	59.2	24.4	77.3	6.3	70.2	13.4
Parete laterale esterno ufficio P01	16	85.0	78.4	6.6	59.2	25.8	79.0	6.1	70.6	14.4
	17	83.3	77.1	6.2	59.2	24.1	76.7	6.6	69.2	14.0
esterno ufficio P01	18	84.6	78.7	5.9	59.2	25.4	78.7	5.9	70.9	13.7
	22	87.6	80.6	7.0	59.3	28.3	74.2	13.4	71.2	16.4
intorno locale	23	82.2	76.3	5.9	59.2	23.0	73.6	8.6	73.2	9.0
	24	85.5	79.4	6.1	59.3	26.2	74.6	10.9	73.3	12.2
Zona montaggio	25	85.4	77.2	8.2	59.2	26.2	77.4	8.1	77.0	8.4
	26	83.6	80.5	3.1	59.2	24.4	79.9	3.8	70.0	13.6
	27	89.0	83.0	6.0	59.4	29.6	83.0	6.0	73.7	15.3
	28	87.4	84.2	3.2	59.4	28.0	84.0	3.4	72.1	15.2
	29	87.4	82.7	4.7	59.2	28.1	82.8	4.6	73.0	14.3

Analisi costo/beneficio

Non è stata realizzata una stima del costo/beneficio.

Procedure di collaudo acustico

Non è stata prodotta una specifica procedura di collaudo degli interventi.

INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

Progetto esecutivo

Non è stata effettuata la progettazione architettonica degli interventi.

Conformità dei sistemi acustici

Lavori attualmente non ancora realizzati.

Controllo dell'esecuzione degli interventi

Lavori attualmente non ancora realizzati.

COLLAUDO ACUSTICO

Verifica dell'efficacia acustica degli interventi

Lavori attualmente non ancora realizzati.

INFORMAZIONI GENERALI

Classificazione dell'ambiente:	1. Ambiente industriale
Comparto	Carpenteria metallica
Periodo di riferimento:	2017
Tipologia intervento di bonifica:	Modifica del layout
Superficie dell'ambiente (m ²):	450
Volume dell'ambiente (m ³):	2,700
Altezza media dell'ambiente (m):	6

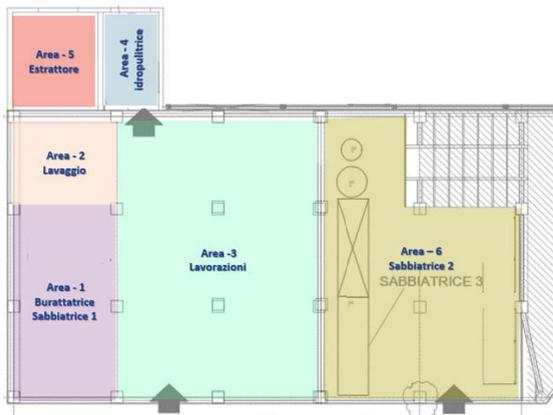
FASE DI ANALISI

A.1 ANALISI DEL QUADRO CONOSCITIVO

Raccolta dati

- Piante, prospetti e sezioni dello stabilimento;
- Layout dello stabilimento dove sono presenti le macchine oggetto di spostamento;
- Layout di progetto dello stabilimento con indicazione delle aree di produzione.

Raccolta informazioni dei processi produttivi



Descrizione:

L'area oggetto di indagine è suddivisa in sei locali in cui si svolgono distinte attività di lavoro e pertanto sono presenti sorgenti e postazioni di lavoro di diverso tipo. Alcune di queste aree comunicano mediante una o più aperture prive di porte.

L'indagine acustica ha riguardato lo spostamento di macchine e postazioni di lavoro in riferimento al un nuovo layout di progetto fornito dal committente e alla riduzione delle emissioni di rumore delle sorgenti maggiormente impattanti mediante interventi effettuati direttamente alle macchine o nell'ambiente in cui sono contenute.

Sorgenti acustiche



- S01 – Burattatrice
- S02 – Sabbiatrice 1
- S03 – Sabbiatrice 2
- S04 – compressore idropulitrice
- S05 – Area lavaggio idropulitrice
- S06 – Asciugatura pezzi – aria compressa
- S07 – Estrattore d'aria

Raccolta schede tecniche e manuali d'uso

Non è stata fornita da parte del committente alcuna scheda tecnica o manuale d'uso delle macchine dello stabilimento.

Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili

In considerazione dell'obiettivo dello studio, ovvero la riduzione del rumore diffuso in tutte le aree oggetto di indagine, si è tenuto conto delle postazioni di lavoro così come indicato nel layout di progetto fornito dal committente.

Definizione dei descrittori e dei valori obiettivo

Descrittori utilizzati per lo studio acustico:

- tempo di Riverberazione, T_{30} (s), relativo alle diverse aree;
- livello di rumore in condizioni di normali attività in riferimento alle postazioni di lavoro di ogni macchina (L_{Aeq} [dB(A)]).

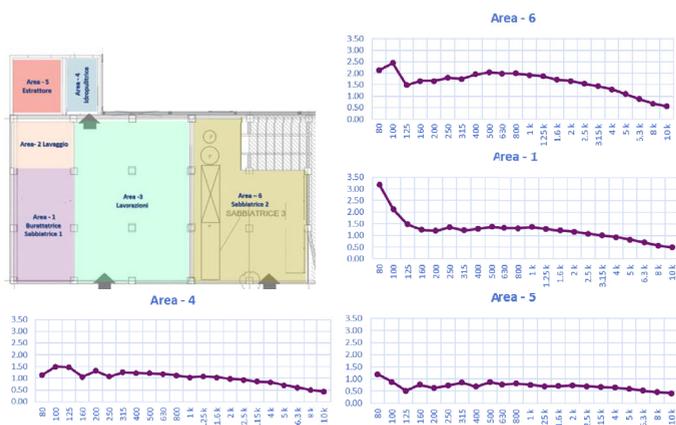
Individuazione degli obiettivi:

- riduzione del rumore della specifica sorgente S01 (burattatrice) mediante il trattamento dell'ambiente dove è attualmente collocata o spostamento in altro locale;
- riduzione del rumore nell'area 6 nelle condizioni di progetto secondo il nuovo layout produttivo.

A.2 FASE DI ANALISI OPERATIVA - ACQUISIZIONE DATI

Misure di caratterizzazione dell'ambiente

Tempo di riverberazione, T_{30} (s)



Descrizione:

Le misure sono state eseguite in ciascuno dei locali esaminati mediante la tecnica dell'interruzione del rumore stazionario di una sorgente campione. Dai risultati ottenuti si può osservare come il TR sia variabile da circa 1 s (area 5) fino a circa 1.5 s (area 6). Considerando che tutti gli ambienti non sono dotati di sistemi di correzione acustica, la variabilità del TR è determinata dalla variazione del volume degli ambienti.

Misure di rumore di fondo

Non si è reso necessario effettuare misure del rumore di fondo in quanto, in assenza di attività, risulta trascurabile.

Misure degli impianti tecnici

Non si è reso necessario effettuare misure del rumore degli impianti in quanto non sono presenti sistemi acusticamente significativi.

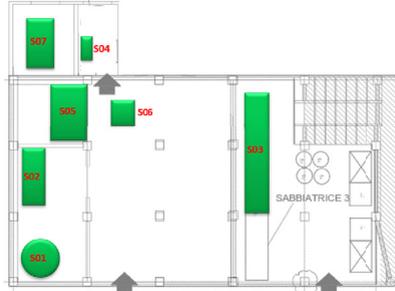
Mappatura acustica dello stabilimento

Non è stata effettuata la mappatura acustica dello stabilimento.

Analisi delle vibrazioni

Dall'analisi delle sorgenti individuate al punto 3, è emerso che la principale componente rumorosa è costituita da rumore aereo, pertanto non è stata effettuata alcuna indagine sulla propagazione delle vibrazioni per via strutturale.

Caratterizzazione acustica delle sorgenti



- S01 – Burattatrice
- S02 – Sabbiatrica 1
- S03 – Sabbiatrica 2
- S04 – compressore idropultrice
- S05 – Area lavaggio idropultrice
- S06 – Asciugatura pezzi – aria compressa
- S07 – Estrattore d'aria

Livelli di Potenza sonora "Lw" [dB]				
Frequenza [Hz]	S01	S02	S03	S04
25	103,5	65,7	67,4	84,3
31,50	93,2	76,8	71,4	80,2
40	103,8	78,4	79,8	81,9
50	95,0	74,4	90,9	87,4
63	97,5	74,0	74,2	87,1
80	88,4	72,2	74,7	89,1
100	93,0	76,4	75,6	83,4
125	90,3	75,5	80,0	81,7
160	88,9	73,5	74,7	81,3
200	83,9	73,3	74,8	87,6
250	87,0	74,3	74,1	83,8
315	83,8	77,4	72,5	81,8
400	85,2	78,4	72,7	79,1
500	85,8	79,4	73,1	78,9
630	82,9	82,9	74,7	80,8
800	84,1	86,0	78,1	76,6
1000	84,5	91,0	81,1	75,8
1250	84,2	92,9	82,1	76,0
1600	83,9	94,9	83,7	74,6
2000	85,0	93,3	86,9	74,0
2500	85,7	93,6	90,0	73,9
3150	88,1	94,6	91,7	67,1
4000	87,8	95,8	90,9	64,9
5000	86,1	94,4	88,7	63,5
6300	84,6	93,6	89,4	61,8
8000	75,4	90,6	90,0	58,1
10000	75,2	89,8	89,1	55,6
12500	71,4	88,7	87,4	52,0
16000	66,4	85,5	85,1	48,6
20000	59,3	80,8	81,7	43,6
LwA	97,1	104,7	99,7	87,1
Lw	108,3	104,3	100,4	96,4

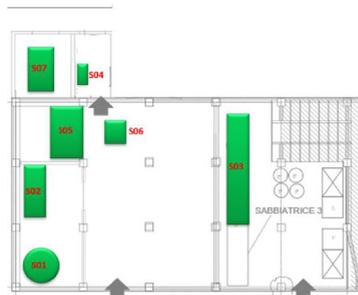
Descrizione:

I livelli di potenza sonora sono stati calcolati secondo quanto previsto dalla norma UNI EN ISO 3744:2010, partendo da misure di pressione sonora eseguite in prossimità della sorgente stessa e apportando la correzione prevista dalla norma relativa al tempo di riverberazione riportato al punto 7. Le sorgenti producono un rumore stazionario variabile a seconda della tipologia di lavorazione. Per il presente studio le sorgenti sono state caratterizzate nella condizione di massima rumorosità.

Le sorgenti S05 e S06 non sono state caratterizzate in quanto utilizzate saltuariamente e pertanto ritenute non rilevanti ai fini dello studio acustico.

Misure del livello di pressione sonora alla postazione di lavoro di ogni sorgente

Frequenza [Hz]	Postazione di lavoro attivando singolarmente ogni macchina							Postazione S02 sorgenti attive S02+S03
	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	
25	98,2	57,7	64,8	75,5	65,1	68,3	70,1	78,6
31,50	87,9	72,4	64,2	69,0	72,8	61,9	84,1	84,7
40	91,1	71,6	70,1	68,4	70,1	66,1	77,4	94,0
50	84,7	66,9	76,6	74,7	73,3	66,9	73,2	78,7
63	91,0	66,2	63,2	71,6	73,4	70,2	77,1	77,3
80	82,3	64,5	65,2	73,6	74,2	72,8	80,7	83,3
100	87,4	65,6	66,7	67,0	73,6	69,2	81,2	88,7
125	94,1	66,1	69,9	67,1	72,2	65,5	82,7	83,6
160	77,9	66,4	61,5	70,3	75,3	66,8	82,5	75,6
200	75,8	61,0	61,9	77,9	74,5	67,2	85,7	73,5
250	77,0	64,4	62,0	72,3	75,8	68,1	83,7	73,6
315	76,0	69,3	60,2	66,6	78,3	71,7	84,8	75,8
400	77,2	67,7	60,7	68,2	80,6	74,3	82,2	76,5
500	77,7	70,2	62,0	66,2	82,2	76,2	80,6	78,5
630	76,8	74,6	64,2	66,3	83,2	75,5	82,4	78,0
800	76,9	77,2	66,5	61,6	83,4	78,7	80,5	80,6
1000	77,0	82,2	69,2	59,4	83,3	84,7	78,5	82,5
1250	76,9	82,6	71,3	61,3	83,4	84,6	77,6	83,7
1600	76,0	83,9	74,3	59,9	84,1	87,1	77,2	84,4
2000	77,9	82,4	77,1	58,7	84,2	90,0	73,3	82,9
2500	78,1	81,9	76,8	56,9	84,3	85,5	72,5	83,0
3150	80,0	82,5	76,9	54,9	83,1	97,8	71,8	83,3
4000	81,1	82,5	76,3	53,0	81,8	97,7	68,5	82,3
5000	78,2	83,4	75,0	51,1	80,6	96,6	63,0	79,8
6300	73,7	78,4	74,7	49,5	79,5	96,5	60,6	77,8
8000	68,8	74,6	75,3	46,0	77,5	97,3	60,2	74,1
10000	64,1	72,6	76,0	44,3	75,6	99,2	57,3	71,7
12500	59,4	69,4	74,7	39,7	73,8	97,9	52,4	68,4
16000	54,7	65,3	72,4	36,5	72,0	97,0	48,9	63,8
20000	46,2	59,3	71,2	31,1	68,9	94,9	43,5	57,5
L_{Aeq}	89,7	92,7	86,5	73,7	94,3	106,5	88,8	93,5
L_{Ceq}	99,5	91,7	85,8	83,0	94,3	104,8	94,0	96,8
L_{eq}	101,6	92,2	87,3	83,8	94,7	107,4	94,4	98,0
L_{Cpeak}	110,9	109,9	103,6	95,2	110,0	128,5	107,9	112,4



- S01 – Burattatrice
- S02 – Sabbiatrica 1
- S03 – Sabbiatrica 2
- S04 – compressore idropultrice
- S05 – Area lavaggio idropultrice
- S06 – Asciugatura pezzi – aria compressa
- S07 – Estrattore d'aria

Al fine di rilevare il disturbo al posto operatore in riferimento alla singola macchina, sono state effettuate misure fonometriche di breve durata (60-120 s) in prossimità della specifica postazione al fine di rilevare l'effettivo disturbo del singolo macchinario nelle condizioni di massima rumorosità. I

Misure di vibrazione

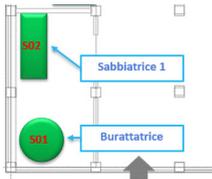
Si veda il punto 11.

Rilievo geometrico e materico dello stabilimento

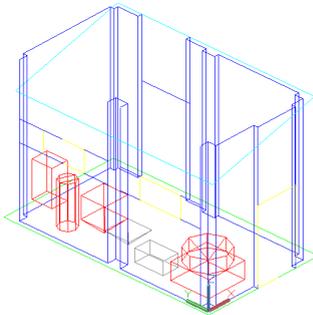
La geometria dello stabilimento relativa all'area di progetto è stata ricostruita a partire dagli elaborati grafici forniti dal committente, previa verifica a campione di alcuni elementi in esso presenti. È stato inoltre effettuato un rilievo geometrico e materico dei principali elementi di arredo (aree di stoccaggio dei materiali, ecc.), dei cabinati e delle sorgenti caratterizzate da un volume acusticamente significativo.

Costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente

AREA 1 – Taratura e Validazione del modello acustico



Attualmente la sorgente S01 (burattatrice) e la sorgente S02 (sabbiatrice 1) si trovano nello stesso locale. Il buratto è una macchina che funziona in continuo per un tempo pari a circa 3-4 ore, senza aver necessità di una postazione di lavoro fissa. In questo intervallo di tempo la macchina è alla sua massima rumorosità ed è posta nelle immediate vicinanze della sorgente S02 (sabbiatrice) presso la quale si trova una postazione di lavoro fissa. L'operatore della sabbiatrice è pertanto impattato dal rumore prodotto della burattatrice.



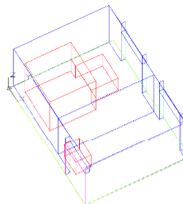
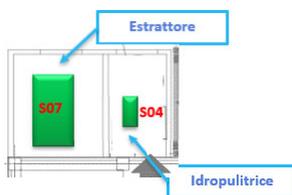
Frequenza [Hz]	Misurato		Simulato		Differenza media
	media	media	media	media	
125	1.61	1.55	1.55	1.55	0.06
250	1.26	1.25	1.25	1.25	0.01
500	1.33	1.31	1.31	1.31	0.02
1 k	1.33	1.28	1.28	1.28	0.05
2 k	1.16	1.06	1.06	1.06	0.10
4 k	0.92	0.89	0.89	0.89	0.03
8 k	0.59	0.60	0.60	0.60	-0.01
media	1.17	1.13	1.13	1.13	0.04

Descrizione:

La validazione del modello acustico è stata effettuata mediante il confronto dei tempi di riverberazione medi misurati e simulati. Nella tabella riportata a fianco è presente il confronto tra il T_{30} medio misurato e simulato dell'area 1. Il modello è stato ritenuto validato in quanto le differenze medie tra i valori misurati e simulati sono risultate al di sotto del 5%.

Successivamente sono state inserite le sorgenti di rumore aventi le caratteristiche acustiche riportate nel punto 12 ed è stato validato mediante il confronto dei risultati della simulazione con le misure fonometriche effettuate a distanza dalle sorgenti.

AREA 4 e 5 – Taratura e Validazione del modello acustico



Frequenza [Hz]	Misurato				Simulato		Differenza
	Area Idropulitrice	Area estrattore	Area Idropulitrice	Area estrattore	Area Idropulitrice	Area estrattore	
125	1.34	0.72	1.32	0.75	0.16	-0.24	
250	1.21	0.74	1.08	0.79	-0.01	-0.06	
500	1.20	0.78	0.95	0.74	0.27	0.14	
1 k	1.08	0.76	0.85	0.71	0.19	0.05	
2 k	0.98	0.72	0.89	0.75	0.09	-0.01	
4 k	0.80	0.64	0.69	0.55	0.15	0.10	
8 k	0.51	0.46	0.54	0.40	-0.04	0.06	
media	1.02	0.69	0.90	0.67	0.12	0.02	

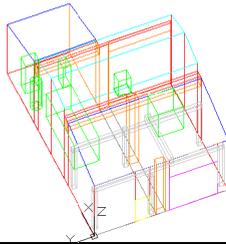
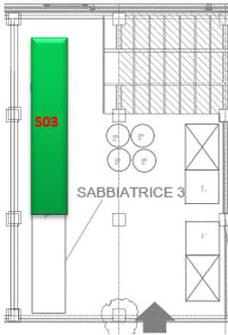
Descrizione:

Le aree 4 e 5 sono state analizzate mediante un unico modello di simulazione in quanto il layout di progetto fornito dal committente prevede la realizzazione di una porta di comunicazione fra i due ambienti.

Anche in questo caso la validazione del modello acustico è stata effettuata mediante il confronto dei tempi di riverberazione medi misurati e simulati. Nella tabella riportata a fianco è presente il confronto tra il T_{30} medio misurato e simulato dell'area 4 e 5. Il modello è stato ritenuto validato in quanto le differenze medie tra i valori misurati e simulati sono risultate al di sotto del 5%.

Successivamente sono state inserite le sorgenti di rumore aventi le caratteristiche acustiche riportate nel punto 12 ed è stato validato mediante il confronto dei risultati della simulazione con le misure fonometriche effettuate a distanza dalle sorgenti.

AREA 6 - Taratura e Validazione del modello acustico



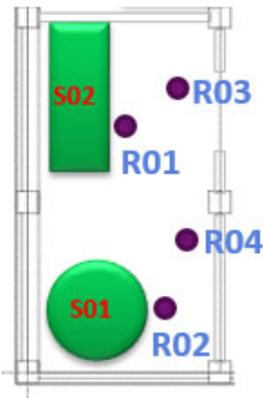
Taratura modello acustico - Tempo di riverberazione [S]			
Frequenza [Hz]	Misurato	Simulato	Differenza
125	1.86	2.08	-0.22
250	1.74	1.85	-0.11
500	1.99	2.02	-0.03
1 k	1.93	1.99	-0.06
2 k	1.64	1.71	-0.07
4 k	1.27	1.36	-0.08
8 k	0.70	0.85	-0.15
media	1.59	1.70	-0.10

Descrizione:

Anche in questo caso la validazione del modello acustico è stata effettuata mediante il confronto dei tempi di riverberazione medi misurati e simulati. Nella tabella riportata a fianco è presente il confronto tra il T_{30} medio misurato e simulato dell'area 6. Il modello è stato ritenuto valido in quanto le differenze medie tra i valori misurati e simulati sono risultate al di sotto del 5%. Successivamente sono state inserite le sorgenti di rumore aventi le caratteristiche acustiche riportate nel punto 12 ed è stato validato mediante il confronto dei risultati della simulazione con le misure fonometriche effettuate a distanza dalle sorgenti.

Calcolo dei livelli di pressione sonora ante-operam

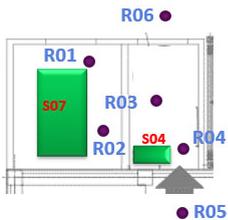
AREA 1



Ante-operam - (Burattatrice + sabbiatrice)											
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LAeq [dBA]
Postazione sabbiatrice	1	100.2	91.3	85.7	79.5	80.6	85.9	88.4	89.1	85.3	94.3
Postazione Buratto	2	102.3	94.1	89.1	82.9	83.2	85.2	86.8	87.6	82.0	92.9
Area sabbiatrice	3	100.5	91.5	85.8	79.3	80.2	85.1	87.3	87.8	83.2	93.1
Area buratto	4	101.4	92.9	87.5	81.2	81.7	85.0	86.8	87.5	82.4	92.8

Simulazione scenario ante-operam - (sorgente attiva Burattatrice)											
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LAeq [dBA]
Postazione sabbiatrice	1	100.5	91.6	86.0	79.6	79.8	78.9	79.0	80.7	72.8	86.2
Postazione Buratto	2	102.6	94.3	89.4	83.0	83.0	82.0	82.3	84.3	77.3	89.6
Area sabbiatrice	3	100.8	91.9	86.0	79.2	79.4	78.4	78.3	79.9	71.2	85.5
Area buratto	4	101.7	93.1	87.7	81.2	81.4	80.5	80.5	82.4	74.8	87.8

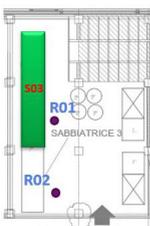
AREA 4 E 5



Ante-operam - estrattore e idropultrici attive, burattatrice OFF											
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LAeq [dBA]
Zona estrattore	1	86.6	82.3	87.3	89.3	86.1	82.1	79.5	72.1	62.5	88.3
Zona estrattore	2	86.0	81.4	86.7	88.6	85.5	82.3	78.6	70.9	62.2	87.5
Postazione Buratto	3	84.1	87.3	81.8	84.0	78.2	74.2	72.4	62.5	55.3	80.9
Area Cassone	4	84.5	87.9	82.8	84.5	78.7	74.8	72.9	63.1	55.9	81.4
1,5m dalla porta	5	77.8	80.7	74.5	76.7	70.6	66.7	65.0	54.9	47.1	73.5
1 m dalla porta (verso ambiente esterno)	6	75.5	77.0	71.2	69.2	60.8	55.3	54.8	44.8	34.9	64.4

Nello studio è stata inserita anche la postazione R06, collocata in ambiente esterno, al fine di poter valutare il rumore uscente dalla porta-finestra, dotata di vetro singolo nello scenario post-operam che tiene conto dell'inserimento della sorgente S01 (burattatrice) nell'area 4. Infine, la postazione R05 è posta nel locale adiacente (AREA 3) al fine di valutare la rumorosità che si propaga in questo locale.

AREA 6



Simulazione scenario ante-operam - (S03 - ON)											
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LAeq [dBA]
Postazione (S03)	1	70.1	79.5	70.7	66.6	66.1	73.3	80.4	82.5	80.1	86.8
Centro area	2	69.0	77.8	69.0	64.5	64.0	71.2	78.4	80.1	76.5	84.3

Individuazione di possibili strategie di intervento

I risultati della simulazione acustica mostrano come le macchine producano livelli sonori sempre superiori a 80 dB(A), rendendo di fatto necessario l'utilizzo di opportuni DPI uditivi da parte degli operatori, anche se impegnati in lavorazioni poco rumorose.

Le possibili strategie di intervento individuate riguardano l'analisi di ogni area in riferimento alle peculiarità tipologiche che la caratterizzano. In particolare, sono state studiate soluzioni volte a ridurre la rumorosità degli ambienti mediante la segregazione di sorgenti particolarmente rumorose e/o interventi ambientali nelle aree dove non è possibile agire sui percorsi mediante opportune compartimentazioni.

FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

Definizione delle tipologie di intervento

In accordo alle strategie di cui al punto 17, sono state valutate le seguenti soluzioni:

- AREA 1 - mitigazione della sorgente maggiormente più rumorosa (S01 burattatrice) mediante la realizzazione di una parete divisoria;
- AREA 1 e AREA 4 - spostamento della sorgente S01 (burattatrice) dall'area 1 all'area 4;
- AREA 6 - il layout di progetto prevede lo spostamento della sorgente S02 (sabbiatrica) all'interno di questa area e l'installazione di un'ulteriore sabbiatrica. Essendo l'ambiente molto contenuto si è proposta l'installazione di un rivestimento fono-assorbente al fine di minimizzare gli effetti dell'energia acustica riflessa dalle strutture dell'edificio.

Fattibilità tecnica

Non sono stati indicati dal committente particolari vincoli tali da interferire con le scelte progettuali acustiche, a eccezione dell'utilizzo di materiali con idonea classe di resistenza al fuoco.

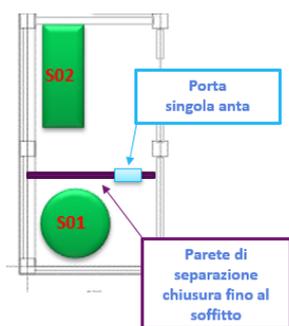
Definizione degli interventi

AREA 1

Data la particolare vicinanza delle due sorgenti oggetto di studio e la rumorosità della burattatrice (S01), è stato proposto un intervento che consiste nella realizzazione di una parete divisoria tra le due macchine. Questo accorgimento permette di ridurre sensibilmente il rumore nell'area circostante alla sabbiatrica (S02) e anche la propagazione nelle aree adiacenti all'officina (area 3). I tre scenari post-operam individuati sono stati simulati in corrispondenza di due configurazioni distinte: con entrambe le sorgenti attive e con attiva solo la burattatrice.

Post-operam - 1

Parete divisoria dotata di porta di comunicazione



Post-operam - 2

Parete divisoria senza porta di comunicazione



Post-operam - 3

Parete divisoria dotata di porta di comunicazione e rivestimento fonoassorbente



AREA 4 e 5

Gli interventi in queste due aree prevedono azioni di mitigazione acustica a fronte dello spostamento della sorgente S01 (burattatrice) dall'area 1 all'area 4. A tal proposito vengono analizzati quattro scenari Post-operam, in ognuno dei quali è sempre presente la porta di comunicazione tra del due aree, così come richiesto dal Committente.

Post.operam - 1

Burattatrice ed estrattore entrambi attivi con porta di comunicazione area 4 e 5.



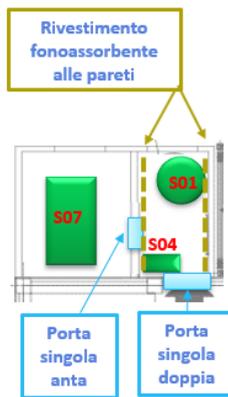
Post.operam - 2

Burattatrice ed estrattore entrambi attivi con porta di comunicazione area 4 e 5 e porta verso ambiente officina.



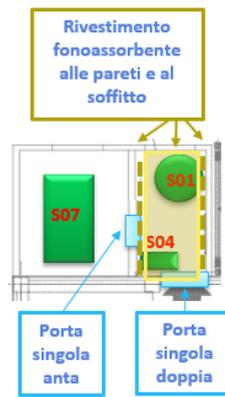
Post.operam - 3

Burattatrice ed estrattore entrambi attivi con porta di comunicazione area 4 e 5, porta verso ambiente officina e rivestimento fonoassorbente alle pareti area 4.



Post.operam - 4

Burattatrice ed estrattore entrambi attivi con porta di comunicazione area 4 e 5, porta verso ambiente officina e rivestimento fonoassorbente al soffitto e alle pareti area 4.



AREA 6

Per questa area il layout di progetto prevede l'inserimento di altre due sabbiatrici aventi caratteristiche uguali alla sorgente S02. Tutti gli scenari post-operam sono stati valutati considerando le tre distinte configurazioni di attivazioni delle tre sabbiatrici rappresentate nella tabella a destra.

Combinazioni di attivazione	S02_1	S02_2	S03
A	X	X	X
B	X		X
C	X	X	

Post.operam - 1

Inserimento delle due sabbiatrici aventi energia sonora uguale alla sorgente S02.



Post.operam - 2

Trattamento fonoassorbente mediante applicazione di rivestimento a parete fino al soffitto.



Post.operam - 3

Trattamento fonoassorbente mediante applicazione di rivestimento a parete fino al soffitto e all'intradosso della copertura a falde opaca.



Caratteristiche acustiche e descrizione dei materiali adottati per gli scenari Post-operam

Materiali proposti per gli interventi dell'AREA 1, 4 e 5

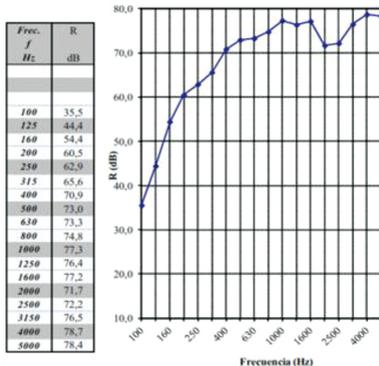
PARETE DI SEPARAZIONE

Tipo «KNAUF Sistema W115+1» sp. 176 mm

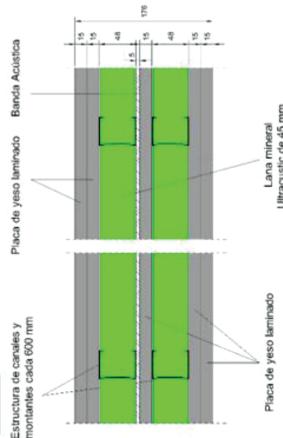
Composto da:

- Doppia lastra per lato tipo GKB di spessore 15 mm ed una lastra centrale dello stesso tipo;
- Doppia lana minerale di spessore 45 mm e densità 16 kg/m³;
- Doppia orditura con profili metallici C 50/50

Potere fonoisolante $R_w = 69$ dB



Aislamiento global calculado según la Norma ISO 717-1:1996:
 $R_w (C,C_{tr}) = 69 (-6; -14)$ dB
 Aislamiento global en dBA (entre 100 y 5000 Hz):
 $R_a = 63,9$ dBA



PORTE FONOIOLANTI

Tipo «BOSCO Italia RW 45»

Composto da:

- Involucro in acciaio zincato verniciato a polveri poliesteri;
- Coibentazione interna fonoisolante e fonoassorbente
- Soglia di battuta inferiore

Potere fonoisolante $R_w = 47$ dB

Certificato di prova su di una porta di dimensione 2095 x 990 mm (H x L)

f Hz	Rw dB
100	24,9
125	29,8
160	33,3
200	34,4
250	39,4
315	41,7
400	40,8
500	44,3
630	40,9
800	47,1
1.000	49,1
1.250	51,3
1.600	52,9
2.000	53,4
2.500	53,9
3.150	54,4
4.000	54,0
5.000	54,8

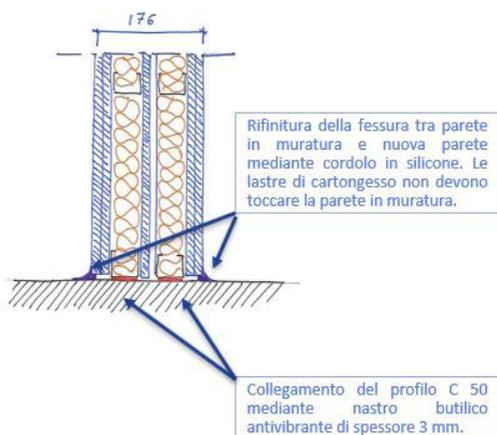
$R_w = 47$ dB



Dettagli tecnologici per la parete di separazione per l'intervento nell'AREA 1

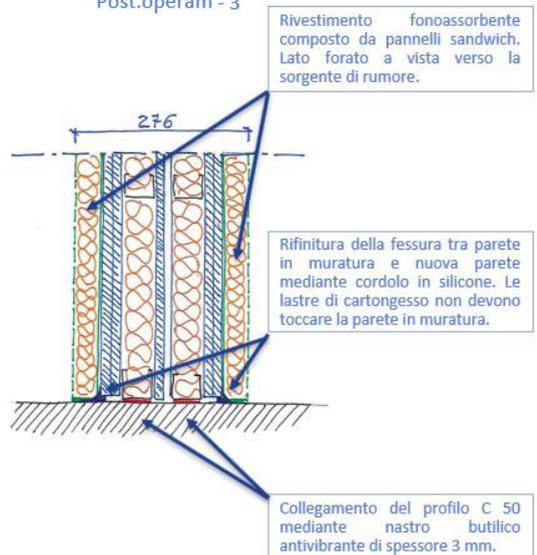
Sezione orizzontale (nodo parete)

Post.operam - 1



Sezione orizzontale (nodo parete)

Post.operam - 3



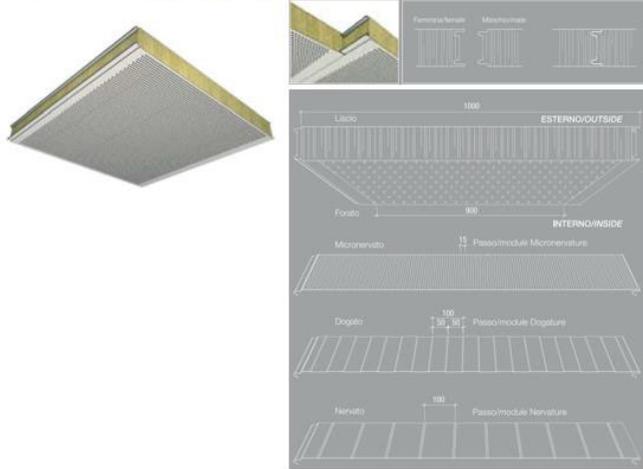
Rivestimento fono-assorbente proposto in riferimento ad ogni intervento

RIVESTIMENTO FONOASSORBENTE

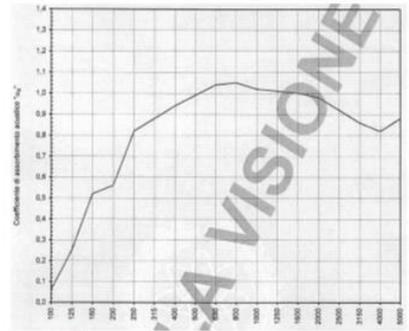
Pannelli sandwich modulari tipo «Rw panel WMP 50 S», sp. 50 mm

Composto da:

- Lato fonoassorbente (lato sorgente) - lamiera forata in acciaio zincato pre-verniciato (sp. 0,6 mm);
- Lato riflettente - lamiera in acciaio zincato preverniciato (sp. 0,6 mm);
- Coibentazione interna in lana di roccia, densità 100 kg/m³.

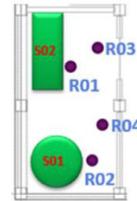


Frequenza [Hz]	α in $\frac{1}{3}$ d'ottava	α_s^* in banda d'ottava (valore approssimato a 0,05 con valore massimo pari a 1,00)	Curva di riferimento
100	0,06		
125	0,25	0,28	
160	0,82		
200	0,56		
250	0,82	0,75	0,90
315	0,88		
400	0,94		
500	0,99	0,99	1,00
630	1,04		
800	1,05		
1000	1,02	1,00	1,00
1250	1,01		
1600	1,00		
2000	0,98	0,95	1,00
2500	0,92		
3150	0,86		
4000	0,82	0,90	0,90
5000	0,88		



Verifica acustica di progetto degli interventi

AREA 1 - Sorgente attiva S01 (Burattatrice)



Simulazione scenario ante-operam - (sorgente attiva Burattatrice)											
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{Aeq} [dBA]
Postazione sabbiatrice	1	100.5	91.6	86.0	79.6	79.8	78.9	80.7	72.8		86.2
Postazione Buratto	2	102.6	94.3	89.4	83.0	83.0	82.0	84.3	77.3		89.6
Area sabbiatrice	3	100.8	91.9	86.0	79.2	79.4	78.4	79.9	71.2		85.5
Area buratto	4	101.7	93.1	87.7	81.2	81.4	80.5	82.4	74.8		87.8

Post-operam 1 - (sorgenti attive Burattatrice) con porta di accesso											Attenuazione globale dBA	
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		L _{Aeq} [dBA]
Postazione sabbiatrice	1	81.4	60.7	48.5	45.1	42.6	38.6	37.3	38.6	33.5	47.7	38.5
Postazione Buratto	2	103.7	95.6	90.5	84.5	84.7	83.9	84.0	85.9	78.7	91.3	-1.7
Area sabbiatrice	3	80.3	60.1	48.0	45.0	42.5		37.3	38.6	33.5	47.4	38.1
Area buratto	4	103.2	94.9	89.5	83.6	83.9	83.2	83.1	85.0	77.3	90.4	-2.6

Post-operam 2 - (sorgenti attive Burattatrice) senza porta di accesso											Attenuazione globale dBA	
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		L _{Aeq} [dBA]
Postazione sabbiatrice	1	79.1	55.1	43.2	44.8	42.4	38.5	37.3	38.5	33.5	45.8	39.4
Postazione Buratto	2	103.6	95.5	90.4	84.5	84.7	83.9	84.0	85.9	78.7	91.3	-1.7
Area sabbiatrice	3	76.9	52.9	42.3	44.8	42.4	38.5	37.3	38.5	33.5	45.4	39.1
Area buratto	4	103.0	94.8	89.4	83.5	83.8	83.1	83.1	84.9	77.3	90.4	-2.6

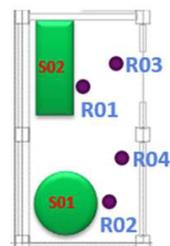
Post-operam 3 - (sorgenti attive Burattatrice) con porta di accesso e rivestimento fonoassorbente											Attenuazione globale dBA	
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		L _{Aeq} [dBA]
Postazione sabbiatrice	1	81.4	60.5	48.2	45.0	42.5	38.6	37.3	38.6	33.5	47.7	38.5
Postazione Buratto	2	103.8	95.5	90.3	83.2	82.8	81.9	82.4	84.6	77.8	89.8	-0.2
Area sabbiatrice	3	80.3	60.0	47.7	44.9	42.5	38.5	37.3	38.6	33.5	47.3	38.2
Area buratto	4	103.2	94.8	89.2	81.6	81.1	80.2	80.6	82.8	75.6	88.0	-0.2

- Post 1: considerando attiva la sorgente burattatrice l'attenuazione dovuta alla presenza della parete divisoria risulta pari a circa 38 dBA nella zona sabbiatrice.
- Post 2: La presenza della porta di dimensioni standard (90x210 cm singola anta) posta nella parete divisoria comporta un peggioramento del livello sonoro nell'area sabbiatrice di circa 1 dB. Pertanto, ai fini delle lavorazioni che si svolgono internamente all'officina tale incremento si ritiene trascurabile. Se la porta, per necessità funzionali dovrà avere una dimensione maggiore rispetto a quella indicata, l'isolamento acustico complessivo della partizione sarà inferiore.
- Post 3: La presenza della parete produce un aumento delle riflessioni sonore nell'area. Al fine di minimizzare gli effetti della riverberazione è stata applicato un rivestimento fono-assorbente sulla nuova parete, composto da pannelli sandwich fono-assorbenti.

Per la stima del livello Post-operam è stato considerato il seguente livello di rumore di fondo:

Rumore di fondo										
31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{Aeq} [dBA]	
45.3	44.4	41.0	44.8	42.4	38.5	37.3	38.5	33.5	45.8	

AREA 1 - Sorgenti attive S01 (Burattatrice) e S02 (sabbiatrice)



Ante-operam - (Burattatrice + sabbiatrice)											
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LAeq [dBA]
Postazione sabbiatrica	1	100.2	91.3	85.7	79.5	80.6	85.9	88.4	89.1	85.3	94.3
Postazione Buratto	2	102.3	94.1	89.1	82.9	83.2	85.2	86.8	87.6	82.0	92.9
Area sabbiatrica	3	100.5	91.5	85.8	79.3	80.2	85.1	87.3	87.8	83.2	93.1
Area buratto	4	101.4	92.9	87.5	81.2	81.7	85.0	86.8	87.5	82.4	92.8

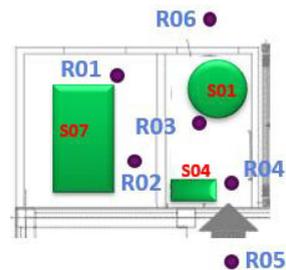
Post-operam 1 - (sorgenti attive Burattatrice + sabbiatrice) con porta di accesso											Attenuazione globale dBA	
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		LAeq [dBA]
Postazione sabbiatrica	1	82.1	70.6	70.8	70.5	76.0	86.3	89.2	89.7	86.0	94.8	-0.5
Postazione Buratto	2	103.8	95.6	90.5	84.5	84.7	83.9	83.9	85.9	78.6	91.3	1.6
Area sabbiatrica	3	81.2	70.2	70.2	69.7	75.2	85.4	88.1	88.3	83.9	93.6	-0.5
Area buratto	4	103.2	94.9	89.5	83.6	83.9	83.2	83.1	85.0	77.3	90.4	2.4

Post-operam 2 - (sorgenti attive Burattatrice + sabbiatrice) senza porta di accesso											Attenuazione globale dBA	
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		LAeq [dBA]
Postazione sabbiatrica	1	80.2	70.2	70.8	70.5	76.0	86.3	89.2	89.7	86.0	94.8	-0.5
Postazione Buratto	2	103.7	95.5	90.5	84.5	84.7	83.9	83.9	85.9	78.6	91.2	1.7
Area sabbiatrica	3	78.6	69.8	70.1	69.7	75.2	85.4	88.1	88.3	83.9	93.6	-0.5
Area buratto	4	103.1	94.8	89.4	83.5	83.9	83.2	83.1	85.0	77.4	90.4	2.4

Post-operam 3 - (sorgenti attive Burattatrice + sabbiatrice) con porta di accesso e rivestimento fonoassorbente											Attenuazione globale dBA	
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		LAeq [dBA]
Postazione sabbiatrica	1	82.1	70.5	70.7	69.6	74.8	85.0	88.1	88.7	85.4	93.8	0.5
Postazione Buratto	2	103.7	95.5	90.3	83.2	82.8	81.9	82.3	84.6	77.7	89.7	3.2
Area sabbiatrica	3	81.2	70.2	70.0	68.7	73.8	83.9	86.8	87.2	83.1	92.3	0.8
Area buratto	4	103.2	94.8	89.2	81.6	81.1	80.2	80.6	82.8	75.6	88.0	4.8

- Post 1: con attive entrambe le sorgenti la presenza della parete dotata di porta acustica (90 x 210 cm anta singola) produce un piccolo miglioramento nell'area della burattatrice in quanto la sabbiatrica ha una rumorosità maggiore.
- Post 2: in questo scenario, con attive entrambe le macchine, l'assenza della porta acustica non produce un miglioramento apprezzabile dei livelli in nessuno dei due ambienti.
- Post 3: la presenza della parete divisoria aggiunge superficie riflettente ad entrambi gli ambienti e pertanto nello scenario post 1 e post 2 si verificano degli aumenti dei livelli di rumore dovuto ad un aumento della riverberazione. Nello scenario post 3 è stato applicato un rivestimento fono-assorbente con pannelli sandwich su entrambi i lati della nuova parete divisoria, al fine di minimizzare gli effetti delle riflessioni acustiche.

AREA 4 e 5 - Tutte le sorgenti sono attive



Ante-operam - estrattore e idropultrice attive, burattatrice OFF											
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LAeq [dBA]
Zona estrattore	1	86.6	82.3	87.3	89.3	86.1	83.1	79.5	72.1	63.5	88.3
Zona estrattore	2	86.0	81.4	86.7	88.6	85.5	82.3	78.6	70.9	62.2	87.5
Postazione Buratto	3	84.1	87.3	81.8	84.0	78.2	74.2	72.4	62.5	55.3	80.9
Area Cassone	4	84.5	87.9	82.3	84.5	78.7	74.8	72.9	63.1	55.9	81.4
1,5 m dalla porta	5	77.8	80.7	74.9	76.7	70.6	66.7	65.0	54.9	47.1	73.5
1 m dalla porta (verso ambiente esterno)	6	75.5	77.0	71.2	69.2	60.8	55.3	51.6	44.0	34.9	64.4

Post-operam 1 - tutte le sorgenti ON (porta tra area 4 e 5)											Attenuazione globale dBA	
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		LAeq [dBA]
Zona estrattore	1	87.5	82.5	87.5	89.4	86.2	83.2	79.6	72.2	63.6	88.4	-0.1
Zona estrattore	2	92.1	82.2	86.9	88.8	85.6	82.6	78.9	71.3	62.4	87.8	-0.3
Postazione Buratto	3	106.1	97.5	94.1	88.9	87.4	86.0	86.8	87.8	80.4	93.7	-12.8
Area Cassone	4	105.8	97.1	93.7	88.7	87.0	85.6	86.4	87.4	79.9	93.3	-11.9
1,5 m dalla porta	5	99.0	90.0	86.6	81.3	79.5	78.0	78.7	79.4	71.6	85.5	-12.0
1 m dalla porta (verso ambiente esterno)	6	97.1	87.1	83.1	73.6	69.4	66.2	65.1	68.1	59.3	75.0	-10.6

Post-operam 2 - tutte le sorgenti ON (porta tra area 4 e 5 e porta verso officina)											Attenuazione globale dBA	
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		LAeq [dBA]
Zona estrattore	1	87.5	82.5	87.4	89.4	86.2	83.3	79.7	72.3	63.6	88.4	-0.1
Zona estrattore	2	92.2	82.3	86.9	88.8	85.7	82.8	79.1	71.5	62.7	87.9	-0.4
Postazione Buratto	3	106.2	97.5	94.1	89.0	87.5	86.1	86.8	87.8	80.4	93.7	-12.8
Area Cassone	4	105.8	97.2	93.6	88.8	87.2	85.8	86.5	87.4	79.7	93.3	-11.9
1,5 m dalla porta	5	93.1	74.2	65.3	57.7	53.9	53.4	52.5	52.7	43.6	61.3	12.2
1 m dalla porta (verso ambiente esterno)	6	97.2	87.2	83.1	73.7	69.5	66.4	65.1	68.2	59.3	75.1	-10.7

Post-operam 3 - tutte le sorgenti ON (porta tra area 4 e 5 e porta verso officina + rivestimento fonoassorbente alle pareti)											Attenuazione globale dBA	
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		LAeq [dBA]
Zona estrattore	1	87.3	82.5	87.5	89.4	86.2	83.2	79.6	72.2	63.6	88.4	-0.1
Zona estrattore	2	90.9	82.2	86.9	88.8	85.6	82.6	78.9	71.3	62.4	87.8	-0.3
Postazione Buratto	3	104.7	96.6	92.1	84.8	82.6	81.4	82.1	84.2	77.6	89.6	-8.7
Area Cassone	4	104.2	96.1	91.4	84.0	81.2	79.9	80.7	82.7	76.0	88.2	-6.8
1,5 m dalla porta	5	91.2	73.1	63.4	56.7	55.2	53.0	52.2	52.5	43.5	60.5	13.0
1 m dalla porta (verso ambiente esterno)	6	95.8	86.4	81.4	70.1	65.8	62.9	61.7	65.7	57.7	72.3	-7.9

Post-operam 4 - tutte le sorgenti ON (porta tra area 4 e 5 e porta verso officina + rivestimento fonoassorbente al soffitto e alle pareti)											Attenuazione globale dBA	
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		LAeq [dBA]
Zona estrattore	1	87.2	82.5	87.5	89.4	86.2	83.3	79.6	72.2	63.6	88.4	-0.1
Zona estrattore	2	90.2	82.1	86.9	88.8	85.7	82.8	79.1	71.5	62.7	87.9	-0.4
Postazione Buratto	3	103.8	95.8	91.1	83.1	80.7	79.6	80.3	82.7	76.4	88.0	-7.1
Area Cassone	4	103.3	95.2	90.3	82.1	78.8	77.3	78.0	80.2	73.9	85.8	-4.4
1,5 m dalla porta	5	90.2	72.0	60.5	46.9	43.2	39.1	37.9	39.1	33.8	53.7	19.8
1 m dalla porta (verso ambiente esterno)	6	95.0	85.7	80.6	69.1	64.9	62.0	60.7	65.0	57.1	71.5	-7.1

- Post 1: L'inserimento della burattatrice comporta un aumento dei livelli sonori nell'area 4. Dato che la burattatrice (S01) è più rumorosa dell'estrattore (S07), l'inserimento della porta nel tramezzo divisorio tra le aree 4 e 5 non comporta un peggioramento nell'area 5 (zona estrattore). L'assenza di porta acustica tra l'area 4, ove è collocata la burattatrice e l'area officina, comporta un contributo dovuto alle emissioni rumorose delle sorgenti S04 e S01 al ricettore R05, pari a circa 85 dB(A).
- Post 2: In questo scenario viene ipotizzata l'installazione di una porta acustica anche tra l'area 4 e l'officina. Tale accorgimento comporta un'attenuazione rilevante delle emissioni rumorose delle sorgenti S04 e S01 verso l'ambiente officina ottenendo sul ricettore R05 (posto ad 1,5 m dalla porta) una riduzione dei livelli di circa 20 dB.
- Observando il ricettore R06, posto ad 1 m di distanza dalla porta a vetro in ambiente esterno, l'inserimento della burattatrice comporta un aumento delle emissioni rumorose di circa 10 dBA rispetto allo scenario attuale (solo S04 attiva) con livelli di rumore di circa 75 dB(A).
- Post 3: In questo scenario viene aggiunto un rivestimento fono-assorbente a parete nell'area 4 ove è collocata la burattatrice. Questo accorgimento permette di attenuare i livelli interni dell'area burattatrice di circa 4-5 dB(A) rispetto allo scenario post 2. Sempre in riferimento allo scenario post 2, osservando il ricettore R05, si ottiene un miglioramento di circa 1 dB(A), mentre, sul ricettore R06 si ha una riduzione di circa 3 dB(A).
- Post 4: In questo scenario si introduce ulteriore materiale fono-assorbente sul soffitto dell'area burattatrice. Dai risultati della simulazione si osserva che nell'area interna ove è collocata la burattatrice si ottiene un ulteriore miglioramento rispetto allo scenario post 3 di circa 2 dB(A). Sempre in riferimento allo scenario post 3, sul ricettore R05 si ottiene un miglioramento di quasi 7 dB(A), mentre, sul ricettore R06 si ottiene una riduzione di un ulteriore 1 dB(A), con livelli di pressione ad un metro dalla porta a vetri verso ambiente esterno prossimi a 70 dB(A).

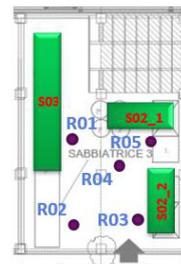
AREA 6 - Post-operam 1 (solo spostamento delle sorgenti senza interventi di mitigazione acustica)

Simulazione scenario ante-operam - (S03 - ON)											
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{Aeq} [dBA]
Postazione (S03)	1	70.1	79.5	70.7	66.6	66.1	73.3	80.4	82.5	80.1	86.8
Centro area	2	69.0	77.8	69.0	64.5	64.0	71.2	78.4	80.1	76.5	84.3
Postazione (S02_2)	3	68.0	76.7	67.9	63.4	62.9	70.0	77.2	78.7	74.5	83.0
Centro area	4	69.0	77.8	69.0	64.6	64.2	71.4	78.7	80.4	76.9	84.7
Postazione (S02_1)	5	67.9	76.8	67.9	63.5	62.9	70.2	77.4	79.1	75.3	83.3

Simulazione scenario post-operam 1_A - (S03, S02_1 e S02_2 - ON)											Attenuazione rispetto allo scenario ante	
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		L _{Aeq} [dBA]
Postazione (S03)	1	74.4	79.8	73.6	71.6	75.8	85.8	89.5	89.7	85.6	94.8	-8.0
Centro area	2	74.0	78.2	72.6	70.6	75.0	85.0	88.7	88.6	83.9	93.8	-9.5
Postazione (S02_2)	3	74.3	77.4	72.9	71.5	76.4	86.4	89.9	90.2	86.4	95.4	-12.4
Centro area	4	74.6	78.4	73.3	71.7	76.3	86.3	89.9	90.1	86.1	95.3	-10.6
Postazione (S02_1)	5	75.0	77.7	73.9	73.0	77.9	88.0	91.4	91.8	88.3	97.0	-13.7

Simulazione scenario post-operam 1_B - (S03 e S02_1 - ON)											Attenuazione rispetto allo scenario ante	
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		L _{Aeq} [dBA]
Postazione (S03)	1	73.0	79.7	72.6	70.0	73.7	83.5	87.5	87.9	84.3	93.0	-6.2
Centro area	2	72.1	78.0	71.0	68.2	71.9	81.7	85.7	85.7	81.0	90.9	-6.6
Postazione (S02_2)	3	71.4	77.0	70.3	67.7	71.7	81.5	85.4	85.4	80.6	90.6	-7.6
Centro area	4	72.6	78.1	71.7	69.5	73.6	83.4	87.1	87.3	83.3	92.5	-7.8
Postazione (S02_1)	5	73.1	77.4	72.2	70.9	75.6	85.6	89.2	89.7	86.3	94.8	-11.5

Simulazione scenario post-operam 1_C - (S02_1 e S02_2 - ON)											Attenuazione rispetto allo scenario ante	
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		L _{Aeq} [dBA]
Postazione (S03)	1	72.5	68.6	70.6	70.0	75.3	85.5	89.0	88.8	84.3	94.1	-7.3
Centro area	2	72.4	68.4	70.1	69.3	74.6	84.8	88.3	88.0	83.2	93.3	-9.0
Postazione (S02_2)	3	73.1	69.5	71.2	70.8	76.2	86.3	89.7	89.9	86.1	95.1	-12.1
Centro area	4	73.2	69.5	71.3	70.8	76.1	86.2	89.7	89.7	85.6	95.0	-10.3
Postazione (S02_1)	5	74.1	70.8	72.6	72.4	77.8	87.9	91.3	91.6	88.1	96.8	-13.5



Post 1 A: Con tutte le sorgenti attive si verifica un incremento a centro area di circa 10 dB(A), mentre alle postazioni di lavoro delle rispettive sabbiatrici si ha un aumento del livello di rumore compreso nell'intervallo tra 12 e 14 dB(A).

Post 1 B: Disattivando la sorgente S02_2 si ha una riduzione dei livelli rispetto allo scenario post 1_A compresi tra 2 e 3 dB su tutti i ricettori, ad eccezione della postazione di lavoro della sabbiatrice S02_2 dove si ha una diminuzione di 5 dB(A) in quanto disattiva.

Post 1 C: Si attivano le due nuove sabbiatrici e viene spenta la sorgente S03. Essendo la sorgente S02 più rumorosa della sorgente S03 si hanno dei leggeri aumenti dei livelli rispetto allo scenario post 1_B.

AREA 6 - Post-operam 1 (spostamento delle sorgenti con rivestimento fono-assorbente a parete)

Simulazione scenario ante-operam - (S03 - ON)											
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{Aeq} [dBA]
Postazione (S03)	1	70.1	79.5	70.7	66.6	66.1	73.3	80.4	82.5	80.1	86.8
Centro area	2	69.0	77.8	69.0	64.5	64.0	71.2	78.4	80.1	76.5	84.3
Postazione (S02_2)	3	68.0	76.7	67.9	63.4	62.9	70.0	77.2	78.7	74.5	83.0
Centro area	4	69.0	77.8	69.0	64.6	64.2	71.4	78.7	80.4	76.9	84.7
Postazione (S02_1)	5	67.9	76.8	67.9	63.5	62.9	70.2	77.4	79.1	75.3	83.3

Simulazione scenario post-operam 2_A - (S03, S02_1 e S02_2 - ON)											Attenuazione rispetto allo scenario ante	Contributo attenuazione del rivestimento fonoassorbente a parete	
Rivestimento fonoassorbente a parete													
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{Aeq} [dBA]		
Postazione (S03)	1	72.8	78.5	71.8	68.4	72.0	82.0	85.8	86.8	84.0	91.7	-4.9	3.1
Centro area	2	71.8	76.0	70.0	65.9	69.6	79.6	83.2	84.1	81.0	89.0	-4.7	4.8
Postazione (S02_2)	3	72.6	75.3	71.0	68.7	73.5	83.6	87.0	87.9	85.1	92.9	-9.9	2.5
Centro area	4	72.7	76.3	71.1	67.9	72.1	82.1	85.6	86.8	83.9	91.6	-6.9	3.7
Postazione (S02_1)	5	73.7	75.7	72.1	70.0	74.7	84.8	88.2	89.1	86.4	94.1	-10.8	2.9

Simulazione scenario post-operam 2_B - (S03 e S02_1 - ON)											Attenuazione rispetto allo scenario ante	Contributo attenuazione del rivestimento fonoassorbente a parete	
Rivestimento fonoassorbente a parete													
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{Aeq} [dBA]		
Postazione (S03)	1	71.4	76.4	70.8	67.2	70.4	80.3	84.3	85.5	82.9	90.3	-3.5	2.7
Centro area	2	69.7	75.8	68.2	63.1	65.9	75.9	79.7	80.8	77.7	85.6	-1.3	5.3
Postazione (S02_2)	3	69.2	74.6	67.5	62.7	66.0	75.9	79.7	80.7	77.3	85.5	-2.5	5.1
Centro area	4	70.6	75.9	69.2	65.4	69.1	78.9	82.4	83.5	80.8	88.4	-3.7	4.1
Postazione (S02_1)	5	71.7	75.2	70.4	68.1	72.8	82.9	86.2	87.2	84.7	92.2	-8.9	2.6

Simulazione scenario post-operam 2_C - (S02_1 e S02_2 - ON)											Attenuazione rispetto allo scenario ante	Contributo attenuazione del rivestimento fonoassorbente a parete	
Rivestimento fonoassorbente a parete													
Posizione di riferimento	Ricettore	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{Aeq} [dBA]		
Postazione (S03)	1	70.8	67.1	68.6	66.5	71.4	81.8	85.3	85.9	82.5	90.9	-4.1	3.2
Centro area	2	70.3	66.4	67.7	64.8	69.2	79.4	82.8	83.5	80.2	88.5	-4.2	4.8
Postazione (S02_2)	3	71.7	68.3	69.8	68.4	73.5	83.7	87.0	87.8	84.9	92.8	-9.8	2.3
Centro area	4	71.5	68.0	69.3	67.2	71.9	82.0	85.4	86.4	83.4	91.3	-6.6	3.7
Postazione (S02_1)	5	72.9	69.7	71.1	69.7	74.7	84.8	88.1	89.0	86.3	94.0	-10.7	2.8



Al fine di ridurre la componente riverberata del rumore si è considerato un rivestimento fono-assorbente a tutta parete.

I risultati delle simulazioni mostrano che per quasi la totalità delle postazioni si verifica un'attenuazione dei livelli di rumore uguale o superiore a 3 dB(A).

Quando una delle sabbiatrici risulta attiva, sulla relativa postazione di lavoro si verifica un'attenuazione di poco superiore ai 2 dB (più contenuto rispetto alle aree centrali dell'ufficio) in quanto, essendo l'operatore molto vicino alla sorgente, è predominante la componente di energia diretta rispetto all'energia riverberata.

AREA 6 - Post-operam 2 (spostamento delle sorgenti con applicazione di rivestimento fono-assorbente a parete e porzione di soffitto)

Simulazione scenario ante-operam - (S03 - ON)											
Posizione di riferimento	Ricettore	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{Aeq} [dBA]
Postazione (S03)	1	70.1	79.5	70.7	66.6	66.1	73.3	80.4	82.5	80.1	86.8
Centro area	2	69.0	77.8	69.0	64.5	64.0	71.2	78.4	80.1	76.5	84.3
Postazione (S02_2)	3	68.0	76.7	67.9	65.4	62.9	70.0	77.2	78.7	74.5	83.0
Centro area	4	69.0	77.8	69.0	64.6	64.2	71.4	78.7	80.4	76.9	84.7
Postazione (S02_1)	5	67.9	76.8	67.9	63.5	62.9	70.2	77.4	79.1	75.3	83.3

Simulazione scenario post-operam 3_A - (S03, S02_1 e S02_2 - ON)										Attenuazione rispetto allo scenario ante	Contributo attenuazione del rivestimento fonoassorbente a parete	Contributo attenuazione dell'aggiunta rivestimento fonoassorbente a soffitto		
Rivestimento fonoassorbente a parete e soffitto														
Posizione di riferimento	Ricettore	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{Aeq} [dBA]			
Postazione (S03)	1	72.6	78.4	71.6	68.2	71.7	81.8	85.6	86.6	83.9	91.5	-4.7	3.3	0.2
Centro area	2	71.4	75.7	69.4	64.9	68.4	78.4	82.1	83.1	80.5	88.0	-3.7	5.8	1.0
Postazione (S02_2)	3	72.3	75.0	70.6	68.2	73.1	83.2	86.6	87.5	84.8	92.5	-9.5	2.9	0.4
Centro area	4	72.4	76.0	70.8	67.6	71.7	81.7	85.2	86.4	83.7	91.3	-6.6	4.0	0.3
Postazione (S02_1)	5	73.5	75.5	71.9	69.8	74.6	84.7	88.0	89.0	86.3	94.0	-10.7	3.0	0.1

Simulazione scenario post-operam 3_B - (S03 e S02_1 - ON)										Attenuazione rispetto allo scenario ante	Contributo attenuazione del rivestimento fonoassorbente a parete	Contributo attenuazione dell'aggiunta rivestimento fonoassorbente a soffitto		
Rivestimento fonoassorbente a parete e soffitto														
Posizione di riferimento	Ricettore	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{Aeq} [dBA]			
Postazione (S03)	1	71.1	78.2	70.6	67.0	70.2	80.1	84.0	85.2	82.7	90.1	-3.3	2.9	0.2
Centro area	2	69.2	75.4	67.6	62.0	64.6	74.5	78.5	79.7	77.1	84.5	-0.2	6.4	1.1
Postazione (S02_2)	3	68.7	74.3	66.9	61.6	64.8	74.7	78.5	79.6	76.6	84.4	-1.4	6.2	1.1
Centro area	4	70.3	75.6	68.9	65.1	68.8	78.6	82.2	83.3	80.7	88.2	-3.5	4.3	0.2
Postazione (S02_1)	5	71.5	75.0	70.2	68.0	72.7	82.8	86.1	87.1	84.6	92.1	-8.8	2.7	0.1

Simulazione scenario post-operam 3_C - (S02_1 e S02_2 - ON)										Attenuazione rispetto allo scenario ante	Contributo attenuazione del rivestimento fonoassorbente a parete	Contributo attenuazione dell'aggiunta rivestimento fonoassorbente a soffitto		
Rivestimento fonoassorbente a parete e soffitto														
Posizione di riferimento	Ricettore	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{Aeq} [dBA]			
Postazione (S03)	1	70.5	66.9	68.3	66.2	71.1	81.5	85.0	85.6	82.3	90.6	-3.8	3.5	0.3
Centro area	2	69.9	66.1	67.2	63.8	68.1	78.3	81.8	82.7	79.8	87.7	-3.4	5.6	0.8
Postazione (S02_2)	3	71.4	68.1	69.4	67.9	73.0	83.1	86.5	87.4	84.7	92.4	-9.4	2.7	0.4
Centro area	4	71.2	67.8	69.1	66.9	71.5	81.6	85.0	86.0	83.3	91.0	-6.3	4.0	0.3
Postazione (S02_1)	5	72.8	69.7	71.0	69.6	74.6	84.7	88.0	88.9	86.2	93.9	-10.6	2.9	0.1



In questo scenario si propone l'aumento della superficie fono-assorbente anche mediante l'installazione di rivestimento a soffitto delle due coperture a falda con travetti in legno. In generale, si può notare che, aggiungendo quest'ulteriore superficie assorbente, si ottiene un ulteriore beneficio alle postazioni R02 ed R03 pari a circa 1 dB(A).

Nelle altre postazioni il beneficio è trascurabile in quanto non è possibile prevedere un soffitto fono-assorbente nella zona centrale dell'officina per la presenza del lucernario.

Analisi costo/beneficio

E' stata formulata una stima di massima dei costi dei diversi scenari analizzati. Di seguito si riportano le tabelle contenenti la stima dei lavori in riferimento ad ogni area di intervento.

AREA 1

Post.operam - 1					
Id	Descrizione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario	Costo Totale
1	Fornitura e posa in opera di parete divisoria tipo "Kanuf Sistema W115+1" composta da doppia lastra in cartongesso tipo "Knauf GKB" di spessore 15 mm per ogni lato e una lastra intermedia tipo "Knauf GKB" di spessore 15 mm; doppia orditura metallica composta da profili metallici tipo "Knauf C50/50" e doppio materassino in lana minerale di spessore 45 mm e densità 16 Kg/m ³ . Spessore totale della parete 176 mm. Potere fonoisolante certificato da laboratorio pari a Rw = 69 dB. Incluso, viteria, e rasante a basa gesso.	m ²	32	€ 135,6	€ 4,339,9
2	Fornitura e posa di porta acustica tipo "Bosco Italia RW 45" di dimensione 100 x 210 cm (singola anta) dotata di maniglia standard, incluso ogni accessorio necessario a rendere il lavoro finito.	cad.	1	€ 3,600,0	€ 3,600,0
TOTALE					€ 7,940

Post.operam - 2					
Id	Descrizione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario	Costo Totale
1	Fornitura e posa in opera di parete divisoria tipo "Kanuf Sistema W115+1" composta da doppia lastra in cartongesso tipo "Knauf GKB" di spessore 15 mm per ogni lato e una lastra intermedia tipo "Knauf GKB" di spessore 15 mm; doppia orditura metallica composta da profili metallici tipo "Knauf C50/50" e doppio materassino in lana minerale di spessore 45 mm e densità 16 Kg/m ³ . Spessore totale della parete 176 mm. Potere fonoisolante certificato da laboratorio pari a Rw = 69 dB. Incluso, viteria, e rasante a basa gesso.	m ²	32	€ 135,6	€ 4,339,9
TOTALE					€ 4,340

Post.operam - 3					
Id	Descrizione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario	Costo Totale
1	Fornitura e posa in opera di parete divisoria tipo "Kanuf Sistema W115+1" composta da doppia lastra in cartongesso tipo "Knauf GKB" di spessore 15 mm per ogni lato e una lastra intermedia tipo "Knauf GKB" di spessore 15 mm; doppia orditura metallica composta da profili metallici tipo "Knauf C50/50" e doppio materassino in lana minerale di spessore 45 mm e densità 16 Kg/m ³ . Spessore totale della parete 176 mm. Potere fonoisolante certificato da laboratorio pari a Rw = 69 dB. Incluso, viteria, e rasante a basa gesso.	m ²	32	€ 135,6	€ 4,339,9
2	Fornitura e posa di porta acustica tipo "Bosco Italia RW 45" di dimensione 100 x 210 cm (singola anta) dotata di maniglia standard, incluso ogni accessorio necessario a rendere il lavoro finito.	cad.	1	€ 3,600,0	€ 3,600,0
3	Fornitura e posa di pannelli fonoassorbenti per rivestimento acustico tipo "RW PANEL Zeroklass waal sound" spessore 50 mm, incluso viteria e tagli	m ²	59,2	€ 52,2	€ 3,091,1
TOTALE					€ 11,031

- note:
- 1) la stima di costo individuato è riferita a prezzi tratti dal prezzario della Regione Toscana anno 2017, dai listini prezzi dei produttori dei materiali applicando uno sconto del 20% e da preventivi che anno validità 30 giorni.
 - 2) L'analisi dei prezzi è stata svolta andando ad implementare i prezzi delle spese generali pari al 15% e degli utili di impresa pari al 10%.
 - 3) Nei prezzi indicati sono esclusi gli oneri della sicurezza afferenti al cantiere oltre ad attrezzature e mezzi per lo svolgimento delle lavorazioni
 - 4) Nei prezzi indicati è escluso l'eventuale costo di trasporto del materiale.
 - 5) le quantità sono riferite al netto delle superfici senza considerare gli eventuali scarti dovuti a tagli e sagomature.

AREA 3 e 4

Post.operam - 1					
Id	Descrizione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario	Costo Totale
1	Demolizione per realizzazione vano porta incluso intonaco di rifinitura imbiancatura della parete. Sono escluse eventuali opere strutturali per il consolidamento della parete o del vano murario realizzato ed ogni altra opera di tipo strutturale.	corpo	1	€ 770,8	€ 770,8
2	Fornitura e posa di porta acustica tipo "Bosco Italia RW 45" di dimensione 100 x 210 cm (singola anta) cm dotata di maniglia standard, incluso ogni accessorio necessario a rendere il lavoro finito.	cad.	1	€ 3,600,0	€ 3,600,0
TOTALE					€ 4,371

Post.operam - 2					
Id	Descrizione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario	Costo Totale
1	Demolizione per realizzazione vano porta incluso intonaco di rifinitura imbiancatura della parete. Sono escluse eventuali opere strutturali per il consolidamento della parete o del vano murario realizzato ed ogni altra opera di tipo strutturale.	corpo	1	€ 770,8	€ 770,8
2	Fornitura e posa di porta acustica tipo "Bosco Italia RW 45" di dimensione 100 x 210 cm (singola anta) cm dotata di maniglia standard, incluso ogni accessorio necessario a rendere il lavoro finito.	cad.	1	€ 3,600,0	€ 3,600,0
3	Realizzazione delle opere murarie per la realizzazione del vano porta di per l'installazione della porta acustica di dimensione (170 x 210 cm). Sono escluse eventuali consolidamento strutturali di ogni genere.	corpo	1	€ 450,0	€ 450,0
4	Fornitura e posa di porta acustica tipo "Bosco Italia RW 45" di dimensione 170 x 210 cm (doppia anta) cm dotata di maniglia standard, incluso ogni accessorio necessario a rendere il lavoro finito.	cad.	1	€ 4,700,0	€ 4,700,0
TOTALE					€ 9,521

- note:
- 1) la stima di costo individuato è riferita a prezzi tratti dal prezzario della Regione Toscana anno 2017, dai listini prezzi dei produttori dei materiali applicando uno sconto del 20% e da preventivi che anno validità 30 giorni.
 - 2) L'analisi dei prezzi è stata svolta andando ad implementare i prezzi delle spese generali pari al 15% e degli utili di impresa pari al 10%.
 - 3) Nei prezzi indicati sono esclusi gli oneri della sicurezza afferenti al cantiere oltre ad attrezzature e mezzi per lo svolgimento delle lavorazioni
 - 4) Nei prezzi indicati è escluso l'eventuale costo di trasporto del materiale.
 - 5) le quantità sono riferite al netto delle superfici senza considerare gli eventuali scarti dovuti a tagli e sagomature.

AREA 3 e 4

Post.operam - 3					
Id	Descrizione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario	Costo Totale
1	Demolizione per realizzazione vano porta incluso intonaco di rifinitura imbiancatura della parete. Sono escluse eventuali opere strutturali per il consolidamento della parete o del vano murario realizzato ed ogni altra opera di tipo strutturale.	corpo	1	€ 770.8	€ 770.8
2	Fornitura e posa di porta acustica tipo "Bosco Italia RW 45" di dimensione 100 x 210 cm (singola anta) cm dotata di maniglia standard, incluso ogni accessorio necessario a rendere il lavoro finito.	cad.	1	€ 3,600.0	€ 3,600.0
3	Realizzazione delle opere murarie per la realizzazione del vano porta di per l'installazione della porta acustica di dimensione (170 x 210 cm). Sono escluse eventuali consolidamento strutturali di ogni genere.	corpo	1	€ 450.0	€ 450.0
4	Fornitura e posa di porta acustica tipo "Bosco Italia RW 45" di dimensione 170 x 210 cm (doppia anta) cm dotata di maniglia standard, incluso ogni accessorio necessario a rendere il lavoro finito.	cad.	1	€ 4,700.0	€ 4,700.0
5	Fornitura e posa di pannelli fonoassorbenti per rivestimento acustico tipo "RW PANEL Zeroklass waal sound" spessore 50 mm, incluso viteria e tagli	m ²	31.0	€ 52.2	€ 1,617.6
TOTALE					€ 11,138

Post.operam - 4					
Id	Descrizione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario	Costo Totale
1	Demolizione per realizzazione vano porta incluso intonaco di rifinitura imbiancatura della parete. Sono escluse eventuali opere strutturali per il consolidamento della parete o del vano murario realizzato ed ogni altra opera di tipo strutturale.	corpo	1	€ 770.8	€ 770.8
2	Fornitura e posa di porta acustica tipo "Bosco Italia RW 45" di dimensione 100 x 210 cm (singola anta) cm dotata di maniglia standard, incluso ogni accessorio necessario a rendere il lavoro finito.	cad.	1	€ 3,600.0	€ 3,600.0
3	Realizzazione delle opere murarie per la realizzazione del vano porta di per l'installazione della porta acustica di dimensione (170 x 210 cm). Sono escluse eventuali consolidamento strutturali di ogni genere.	corpo	1	€ 450.0	€ 450.0
4	Fornitura e posa di porta acustica tipo "Bosco Italia RW 45" di dimensione 170 x 210 cm (doppia anta) cm dotata di maniglia standard, incluso ogni accessorio necessario a rendere il lavoro finito.	cad.	1	€ 4,700.0	€ 4,700.0
5	Fornitura e posa di pannelli fonoassorbenti per rivestimento acustico tipo "RW PANEL Zeroklass waal sound" spessore 50 mm, incluso viteria e tagli	m ²	46.0	€ 52.2	€ 2,400.3
TOTALE					€ 11,921

note:

- 1) la stima di costo individuato è riferita a prezzi tratti dal prezzario della Regione Toscana anno 2017, dai listini prezzi dei produttori dei materiali applicando uno sconto del 20% e da preventivi che anno validità 30 giorni.
- 2) L'analisi dei prezzi è stata svolta andando ad implementare i prezzi delle spese generali pari al 15% e degli utili di impresa pari al 10%.
- 3) Nei prezzi indicati sono esclusi gli oneri della sicurezza afferenti al cantiere oltre ad attrezzature e mezzi per lo svolgimento delle lavorazioni
- 4) Nei prezzi indicati è escluso l'eventuale costo di trasporto del materiale.
- 5) Le quantità sono riferite al netto delle superfici senza considerare gli eventuali scarti dovuti a tagli e sagomature.

AREA 6

Post.operam - 2					
Id	Descrizione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario	Costo Totale
1	Fornitura e posa di pannelli fonoassorbenti per pareti per rivestimento acustico tipo "RW PANEL Zeroklass waal sound" spessore 50 mm, incluso viteria e tagli	m ²	254	€ 52.2	€ 13,253.7
TOTALE					€ 13,254

Post.operam - 3					
Id	Descrizione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario	Costo Totale
1	Fornitura e posa di pannelli fonoassorbenti per pareti per rivestimento acustico tipo "RW PANEL Zeroklass waal sound" spessore 50 mm, incluso viteria e tagli	m ²	254	€ 52.2	€ 13,253.7
2	Fornitura e posa di pannelli fonoassorbenti per soffitto per rivestimento acustico tipo "RW PANEL Zeroklass waal sound" spessore 50 mm, incluso viteria e tagli	m ²	66	€ 52.2	€ 3,443.9
TOTALE					€ 16,698

note:

- 1) la stima di costo individuato è riferita a prezzi tratti dal prezzario della Regione Toscana anno 2017, dai listini prezzi dei produttori dei materiali applicando uno sconto del 20% e da preventivi che anno validità 30 giorni.
- 2) L'analisi dei prezzi è stata svolta andando ad implementare i prezzi delle spese generali pari al 15% e degli utili di impresa pari al 10%.
- 3) Nei prezzi indicati sono esclusi gli oneri della sicurezza afferenti al cantiere oltre ad attrezzature e mezzi per lo svolgimento delle lavorazioni
- 4) Nei prezzi indicati è escluso l'eventuale costo di trasporto del materiale.
- 5) Le quantità sono riferite al netto delle superfici senza considerare gli eventuali scarti dovuti a tagli e sagomature.

Procedure di collaudo acustico

Non è stata definita una specifica procedura di collaudo degli interventi.

INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

Progetto esecutivo

Non è stata effettuata la progettazione architettonica degli interventi.

Conformità dei sistemi acustici

Gli interventi non sono stati ancora realizzati.

Controllo dell'esecuzione degli interventi

Gli interventi non sono stati ancora realizzati.

COLLAUDO ACUSTICO

Verifica dell'efficacia acustica degli interventi

Gli interventi non sono stati ancora realizzati.

INFORMAZIONI GENERALI

Classificazione dell'ambiente:	5. Mense e ristoranti
Comparto	Mensa aziendale
Periodo di riferimento:	2017
Tipologia intervento di bonifica:	Correzione ambientale, Compartimentazione parziale
Superficie dell'ambiente (m ²):	2.200
Volume dell'ambiente (m ³):	7.500
Altezza media dell'ambiente (m):	3,4
Numero di posti a sedere:	960

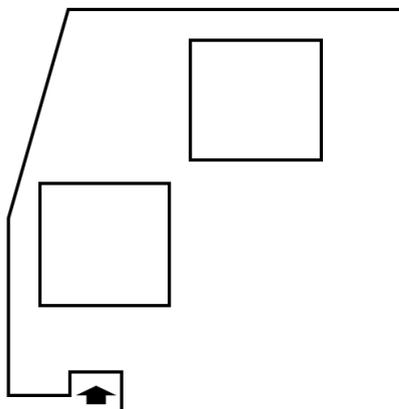
FASE DI ANALISI

A.1 ANALISI DEL QUADRO CONOSCITIVO

Raccolta dati

- Piante, prospetti e sezioni della mensa;
- Layout degli arredi;
- Pianta dei pavimenti;
- Pianta dei controsoffitti;
- Scheda tecnica del pavimento;
- Scheda tecnica del controsoffitto fono-assorbente.

Raccolta informazioni dell'attività



Descrizione:

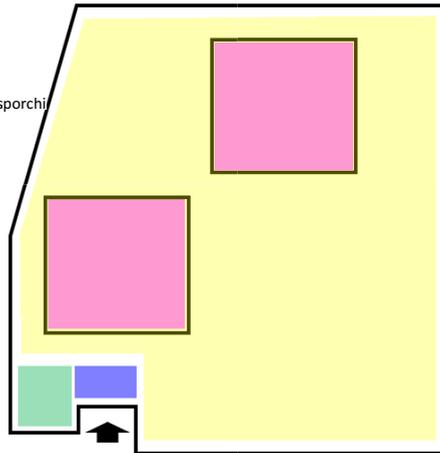
La mensa si configura attraverso un ambiente unico adibito al consumo dei pasti, dove sono presenti due aree buffet specifiche per la distribuzione dei pasti e l'area per il deposito dei vassoi sporchi. La mensa è costituita dai seguenti materiali di finitura e arredi:

- pavimento in linoleum,
- porzioni di parete intonacate ed altre realizzate in lastre di cartongesso,
- controsoffitto fono-assorbente in pannelli di lana di legno mineralizzata e alcune parti ribassate in lastre di cartongesso,
- ampie superfici verticali vetrate,
- tavoli in laminato,
- sedie in materiale plastico,
- schermi trasparenti di dimensioni 1.4 (l) x1.4 (h) m.

In considerazione della tipologia dell'ambiente in esame, il Committente ha richiesto particolare attenzione alle caratteristiche igienico-sanitarie degli elementi di progetto. Inoltre, dal momento che l'ambiente viene utilizzato sporadicamente anche per gli eventi collettivi dell'azienda, non può essere prevista una suddivisione fissa dello spazio in sotto-aree di piccole dimensioni.

1. Analisi del layout

- Area ingresso e prenotazione pasti
- Area buffet
- Area consegna vassoi sporchi
- Area consumo pasti



Descrizione:

All'interno della mensa sono presenti le seguenti aree funzionali, parzialmente delimitate da pareti vetrate curve:

- Area di ingresso e prenotazione pasti;
- Area buffet;
- Area consumo pasti;
- Area consegna vassoi sporchi.

Sorgenti acustiche

Si tratta di un contesto in cui la principale sorgente di rumore è costituita dalle persone (parlato e movimentazione degli arredi e delle stoviglie), distribuite nella gran parte della sala (in giallo) e dalla movimentazione dei carrelli porta vassoi (in verde).

Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili

In considerazione dell'obiettivo dello studio, ovvero la riduzione del rumore all'interno delle aree in cui permangono le persone durante il consumo dei pasti, si è tenuto conto delle postazioni presenti nelle suddette aree.

Definizione dei descrittori e dei valori obiettivo

Descrittori utilizzati per lo studio acustico:

- tempo di Riverberazione, T_{30} (s), relativo alle diverse aree della mensa aventi caratteristiche similari;
- indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, DL_2 dB(A), lungo alcune direttrici ritenute significative al fine di descrivere l'andamento dell'energia riverberata all'interno dell'ambiente;
- livelli di pressione sonora durante la normale attività della mensa, L_{Aeq} dB(A).

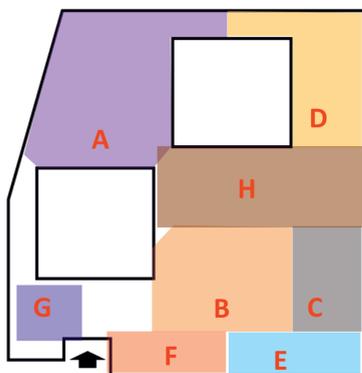
Individuazione degli obiettivi:

- riduzione del tempo di riverberazione dell'ambiente al di sotto del seguente limite: $TR_{500-2000\text{ Hz}} \leq 0.6$ s;
- riduzione dell'indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, DL_2 dB(A) entro il limite: $DL_3 \geq 4$ dB(A);
- riduzione della rumorosità diffusa nella mensa percepibile ad orecchio.

A.2 FASE DI ANALISI OPERATIVA - ACQUISIZIONE DATI

Misure di caratterizzazione dell'ambiente

Tempo di riverberazione, T_{30} (s)



Descrizione:

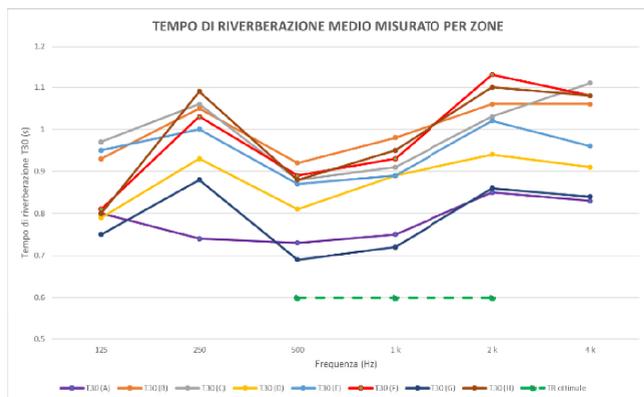
Data la elevata volumetria e presenza di zone differenti, si è ritenuto opportuno suddividere idealmente la sala in 8 aree in cui sono state effettuate misure del tempo di riverberazione, considerando per ciascuna area almeno 3 postazioni sorgente e al minimo 3 postazioni microfoniche per ciascuna postazione sorgente. Tali aree sono state scelte sulla base dell'omogeneità volumetrica e materica.

La misura del tempo di riverberazione è stata eseguita mediante la tecnica standard dell'interruzione del rumore stazionario.

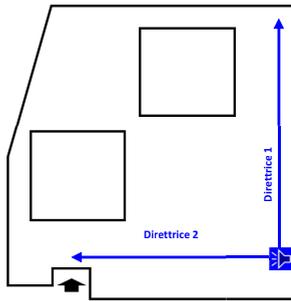
Frequenza (Hz)	T_{30} (A)	T_{30} (B)	T_{30} (C)	T_{30} (D)	T_{30} (E)	T_{30} (F)	T_{30} (G)	T_{30} (H)
125	0.8	0.93	0.97	0.79	0.95	0.81	0.75	0.8
250	0.74	1.05	1.06	0.93	1	1.03	0.88	1.09
500	0.73	0.92	0.88	0.81	0.87	0.89	0.69	0.88
1 k	0.75	0.98	0.91	0.89	0.89	0.93	0.72	0.95
2 k	0.85	1.06	1.03	0.94	1.02	1.13	0.86	1.1
4 k	0.83	1.06	1.11	0.91	0.96	1.08	0.84	1.08
$T_{30,500-2000Hz}$	0.78	0.99	0.94	0.88	0.93	0.98	0.76	0.98

I risultati delle misure mostrano che il T_{30} più contenuto è relativo alle aree A e G, che risultano maggiormente confinate rispetto alle altre per la presenza delle pareti vetrate delle aree buffet; viceversa la riverberazione più elevata è quella delle aree centrali della mensa.

L'andamento in frequenza mostra una minore riverberazione alle frequenze medie, dovuta principalmente alla maggiore efficacia acustica a tali frequenze del controsoffitto esistente.



Indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, DL_2 dB(A)



Direttrice 1

Globale	CAMPO VICINO					CAMPO INTERMEDIO					CAMPO LONTANO							
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m	20 m	24 m	28 m	32 m
$L_{z,eq}$ dB	108.8	104.8	102.7	101.3	99.5	99.6	98.4	97.9	98.0	97.6	96.3	93.9	93.4	92.8	91.6	90.3	89.0	88.2
L_{1-12} dB	4.05	2.04	1.39	1.83	-0.10	1.18	0.50	-0.06	0.35	1.31	2.43	0.49	0.60	1.14	1.29	1.37	0.78	
DL_2 dB	3.9					3.8					5.4							

Direttrice 2

Globale	CAMPO VICINO					CAMPO INTERMEDIO					CAMPO LONTANO								
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m	20 m	24 m	28 m	32 m	36 m
$L_{z,eq}$ dB	110.0	104.8	102.0	100.4	99.1	98.4	97.4	97.2	95.3	96.0	94.4	93.6	92.9	92.2	90.1	89.4	86.9	85.1	85.3
L_{1-12} dB		5.19	2.85	1.57	1.25	0.75	0.96	0.20	1.94	-0.65	1.51	0.86	0.63	0.74	2.15	0.67	2.52	1.73	-0.12
DL_2 dB	4.7					3.8					7.15								

Descrizione:

Per valutare la propagazione del rumore in ambiente interno sono state eseguite misure fonometriche a distanze prestabilite mediante l'utilizzo di una sorgente campione omnidirezionale posizionata all'interno della sala al fine di verificare il decremento del rumore al raddoppio della distanza mediante la procedura per la valutazione del parametro DL_2 [dB(A)], in accordo con la norma UNI EN ISO 14257:2006.

Dalle indagini svolte si è potuto constatare che il parametro DL_2 che caratterizza lo scenario attuale lungo le due diretrici analizzate, è pari a circa 4 dB nel campo vicino (1-5 m), nel campo intermedio (6-16 m) e oltre 5 dB nel campo lontano (18-98 m).

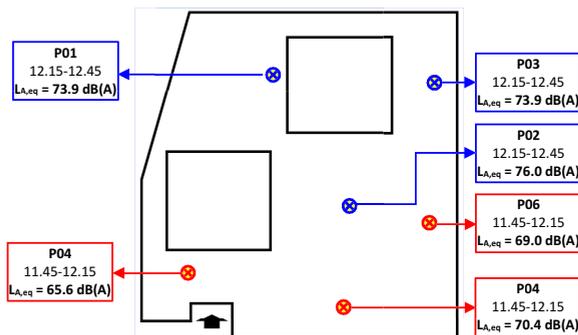
Misure di rumore di fondo

Non sono state effettuate misure di rumore di fondo in quanto non ritenute significative ai fini dello studio.

Misure del rumore degli impianti tecnici

La rumorosità degli impianti tecnici (cappe di aspirazione e impianto di condizionamento) è risultata trascurabile a fronte del rumore antropico.

Misure durante l'attività presente nel locale



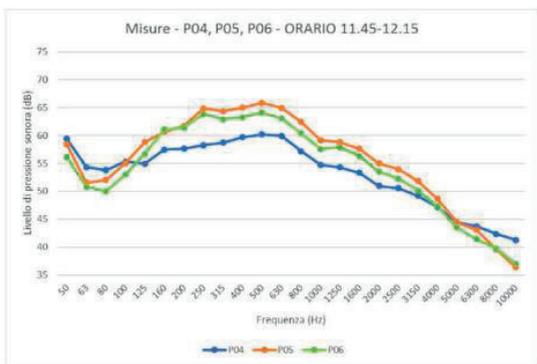
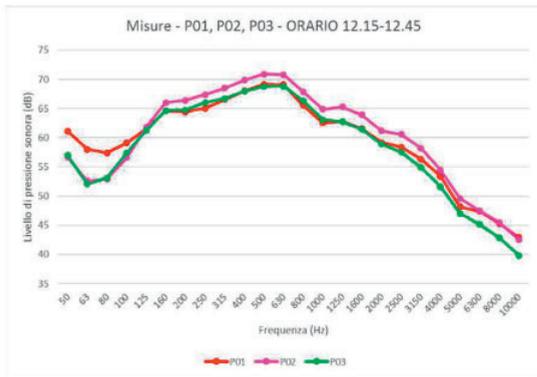
Descrizione:

Le misure fonometriche sono state effettuate in contemporanea mediante l'utilizzo di tre fonometri distinti in due fasce orarie:

- P01, P02, P03 dalle ore 12:15 alle ore 12:45;
- P04, P05, P06 dalle ore 11:45 alle ore 12:15.

Nell'ora di massima affluenza (12.15-12.45) il livello rilevato nella zona centrale è pari a 76 dB(A) e supera quello delle altre due zone, oggetto di indagine nella stessa fascia oraria, di oltre 2 dB(A).

La rumorosità delle zone un po' più protette (punti P01 e P03), nella medesima ora di misura, è risultata essere la stessa, pari a 73.9 dB(A).



Nella fascia oraria precedente (11.45-12.15) i livelli misurati in contemporanea nei punti P04, P05 e P06 sono stati al massimo pari a 70 dB(A).

La zona più silenziosa della mensa risulta essere quella relativa al punto P04, dove la principale fonte di rumore è costituita dalla movimentazione dei carrelli porta-vassoi, mentre quella più rumorosa risulta essere quella centrale, in quanto caratterizzata da un maggiore numero di posti a sedere ed esposta al rumore proveniente da tutte le altre zone della mensa.

Lo spettro di tutte le misure mostra come il contenuto energetico maggiore si abbia alle frequenze medie (500 Hz), frequenze che tipicamente caratterizzano il parlato, principale fonte di rumore all'interno della mensa.

Osservando la storia temporale delle misure si può vedere come nella prima fascia oraria, quando ancora la sala non risulta completamente piena, il rumore è fluttuante e influenzato dal cambio turno degli utenti. Nella seconda fascia oraria, quando invece la sala risulta completamente occupata, il rumore di fondo è pressoché costante nel tempo.

Rilievo geometrico e materico degli ambienti

La geometria della mensa è stata ricostruita a partire dagli elaborati grafici forniti dal committente, previa verifica a campione di alcune misure. È stato inoltre effettuato un rilievo geometrico e materico dei principali elementi di arredo, tavoli, sedie e schermi vetriati, differenti rispetto a quanto riportato negli elaborati di progetto.

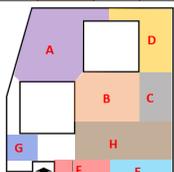
Costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente e taratura

Taratura del modello mediante confronto con T_{30} misurati

A			B			C					
Frequenza (Hz)	Tr S1 misurato	Tr S1 simulato	Differenza misurato - simulato	Frequenza (Hz)	Tr S5 misurato	Tr S5 simulato	Differenza misurato - simulato	Frequenza (Hz)	Tr S8 misurato	Tr S8 simulato	Differenza misurato - simulato
125	0.8	0.73	-0.07	125	0.93	0.99	-0.06	125	0.97	1.03	-0.06
250	0.74	0.78	-0.04	250	1.05	1.01	0.04	250	1.06	1.08	-0.02
500	0.73	0.74	-0.01	500	0.92	0.94	-0.02	500	0.88	1.01	-0.13
1 k	0.75	0.76	-0.01	1 k	0.98	0.96	0.02	1 k	0.91	1.00	-0.09
2 k	0.85	0.8	0.05	2 k	1.06	1.04	0.02	2 k	1.03	1.06	-0.03
4 k	0.83	0.76	0.07	4 k	1.08	0.99	0.07	4 k	1.11	1.01	0.10

D			E			F					
Frequenza (Hz)	Tr S10 misurato	Tr S10 simulato	Differenza misurato - simulato	Frequenza (Hz)	Tr S12 misurato	Tr S12 simulato	Differenza misurato - simulato	Frequenza (Hz)	Tr S13 misurato	Tr S13 simulato	Differenza misurato - simulato
125	0.79	0.89	-0.10	125	0.95	0.85	0.1	125	0.81	1.01	-0.20
250	0.93	0.88	0.04	250	1	0.85	0.15	250	1.03	1.02	0.01
500	0.81	0.82	-0.01	500	0.87	0.8	0.07	500	0.89	0.96	-0.07
1 k	0.89	0.81	0.08	1 k	0.89	0.8	0.09	1 k	0.93	0.95	-0.02
2 k	0.94	0.86	0.08	2 k	1.02	0.86	0.16	2 k	1.13	1.00	0.13
4 k	0.91	0.82	0.09	4 k	0.96	0.82	0.14	4 k	1.08	0.96	0.12

G			H				
Frequenza (Hz)	Tr S14 misurato	Tr S14 simulato	Differenza misurato - simulato	Frequenza (Hz)	Tr S15 misurato	Tr S15 simulato	Differenza misurato - simulato
125	0.75	0.79	-0.04	125	0.8	1.01	-0.21
250	0.88	0.79	0.09	250	1.09	1.04	0.05
500	0.69	0.74	-0.05	500	0.88	0.97	-0.09
1 k	0.72	0.74	-0.02	1 k	0.95	0.99	-0.04
2 k	0.86	0.78	0.08	2 k	1.1	1.06	0.04
4 k	0.84	0.76	0.08	4 k	1.08	1.01	0.07



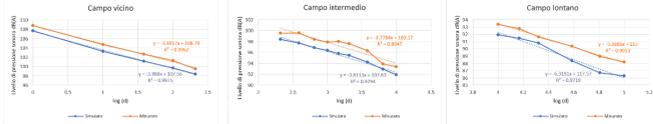
Descrizione:

La validazione del modello acustico è stata effettuata mediante il confronto dei tempi di riverberazione medi misurati e simulati in ciascuna delle 8 aree in cui è stato idealmente suddivisa la mensa. Il modello è stato ritenuto validato in quanto le differenze medie tra i valori misurati e simulati sono risultate al di sotto del 5%.

Taratura del modello mediante confronto con DL₂ misurati

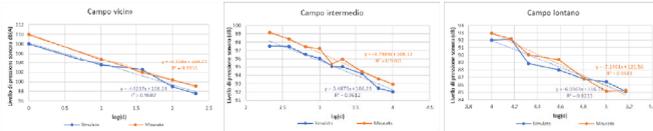
Direttrice 1

Globale	CAMPO VICINO					CAMPO INTERMEDIO								CAMPO LONTANO							
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m	20 m	24 m	28 m	32 m			
L _{A2} -dB SIMULATO	107.7	103.3	101.2	99.7	98.4	97.7	96.9	96.4	95.8	95.4	94.2	92.9	91.0	91.5	90.8	88.3	86.7	86.3			
L _{A2} -dB MISURATO	108.8	104.8	102.7	101.3	99.5	99.6	98.4	97.9	98.0	97.6	96.3	93.9	93.4	92.8	91.6	90.3	89.0	88.2			
DL ₂ -dB	4					3.8								6.3							
L _{A1} -dB	4.64	2.14	1.48	1.28	0.67	0.84	0.52	0.60	0.33	1.21	1.32	0.97	0.47	0.68	2.44	1.62	0.43				
DL ₂ -dB	3.9					3.8								5.4							



Direttrice 2

Globale	CAMPO VICINO					CAMPO INTERMEDIO								CAMPO LONTANO							
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m	20 m	24 m	28 m	32 m	36 m		
L _{A2} -dB SIMULATO	108.0	103.6	102.5	99.0	97.5	97.5	96.5	96.0	95.1	95.0	94.2	92.4	92.0	92.2	88.9	88.0	86.8	86.4	85.1		
L _{A2} -dB MISURATO	110.0	104.8	102.0	100.4	99.1	98.4	97.4	97.2	95.3	96.0	94.4	93.6	92.9	92.2	90.1	89.4	86.9	85.1	85.3		
DL ₂ -dB	4.4					3.5								6							
L _{A1} -dB	4.47	1.02	3.53	1.47	0.05	0.95	0.49	0.97	0.05	0.80	1.78	0.40	-0.14	3.33	0.66	1.23	0.38	1.26			
DL ₂ -dB	4.7					3.8								7.15							



Descrizione:

La validazione del modello acustico è stata effettuata inoltre mediante verifica dei decadimenti al raddoppio della distanza DL₂ misurati lungo le due direttrici. Nelle tabelle accanto riportate è presente il confronto tra il DL₂ globale in dB(A) misurato e simulato. Il modello è stato ritenuto valido in quanto le differenze medie tra i valori misurati e simulati sono risultate contenute entro ±1.5 dB(A).

Individuazione di possibili strategie di intervento

A partire dai risultati delle indagini fonometriche, sono state ipotizzate le seguenti strategie di intervento:

- interventi sull'ambiente volti alla riduzione della riverberazione alle medie e alte frequenze;
- suddivisione di alcune parti del volume principale della mensa in sub-aree più piccole mediante schermi acustici fissi.

Questo in quanto, in accordo alle specifiche indicate dal committente, non è stato possibile agire sul parametro relativo alla densità di occupazione, riducendo il numero di posti a sedere, previa introduzione di un maggior numero di turni di pausa pranzo.

FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

Definizione delle tipologie di intervento

In accordo alle strategie di intervento proposte al Committente, sono state valutate le seguenti tipologie di intervento.

- Interventi ambientali:
 - a) rivestimenti fono-assorbenti a parete;
 - b) tende fono-assorbenti sulle vetrate.
- Interventi di compartimentazione delle aree:
 - c) schermi acustici fissi bi-assorbenti.

Fattibilità tecnica

I principali vincoli riscontrati per la realizzazione degli interventi ipotizzati riguardano:

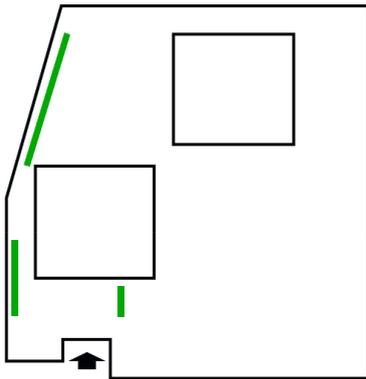
- elevati standard richiesti per la pulizia e manutenzione nel tempo dei sistemi acustici proposti;
- nessuno schermo posizionato nella parte centrale della mensa, al fine di preservare un utilizzo di questo spazio per ospitare eventi collettivi dell'azienda;
- non è stato possibile prevedere elementi mobili per rischio di caduta per impatto accidentale.

Definizione degli interventi

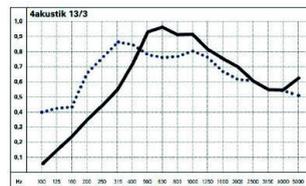
i) Rivestimenti fono-assorbenti a parete

La soluzione proposta riguarda l'installazione di un rivestimento ligneo fono-assorbente lungo tutto il perimetro delle pareti della sala, attualmente realizzate in intonaco e lastre di cartongesso. Si tratta di rivestimento a tutta parete, per una superficie complessiva pari a 275 mq, costituito da lamelle in MDF ad incastro di spessore 16 mm e foratura 12%, montate con un'intercapedine pari a 20 mm riempita con materiale fono-assorbente.

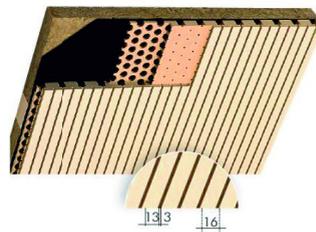
Posizionamento in pianta del rivestimento fono-assorbente delle pareti



Coefficienti di assorbimento acustico dei prodotti



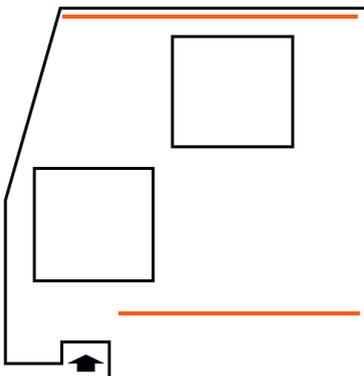
Sezione tipo del pannello proposto



j) Tende fono-assorbenti sulle vetrate

Il progetto ha previsto l'installazione di tende fono-assorbenti per una superficie di 170 m², posizionate ad una distanza minima di 20 cm dalle vetrate. Il tessuto ha un peso medio pari a 430 gr/m² ed è composto al 36% da tessuto Trevira e 64% PVC. Classe di reazione al fuoco B-s3,d0.

Posizionamento in pianta delle tende fono-assorbenti



Coefficienti di assorbimento acustico del prodotto proposto

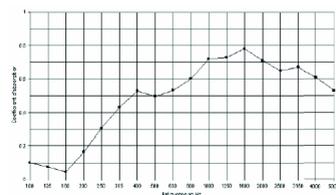


Immagine di riferimento del prodotto proposto



k) Schermi acustici fissi biassorbenti

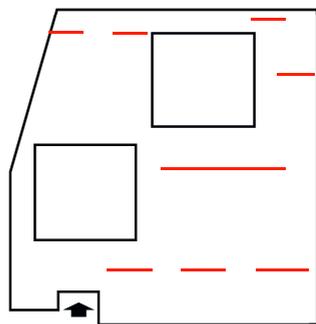
L'intervento proposto consiste nel suddividere il volume unico della mensa in 7 aree più piccole, mediante la realizzazione di schermi acustici fissi biassorbenti, fermo restando che la zona centrale più ampia deve restare totalmente libera per le richieste del committente sopra indicate.

L'obiettivo è quello di avere zone più piccole e silenziose per gli ospiti che desiderano maggiori condizioni di silenzio e privacy e una zona più grande e meno silenziosa, per un consumo più veloce dei pasti.

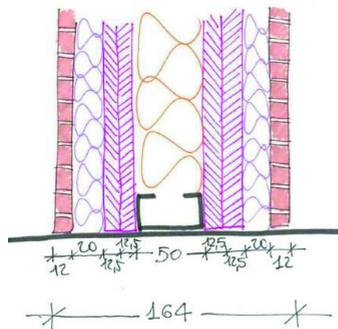
Gli schermi acustici, caratterizzati da lunghezze variabili, altezza pari a 2 m e superficie complessiva pari a circa 145 m², saranno posizionati in modo da lasciare liberi i passaggi di larghezza minima pari a 1.5 m, in corrispondenza delle aree di transito già presenti nella mensa. Tali schermi sono previsti con un nucleo strutturale realizzato con orditura metallica, doppia lastra di cartongesso su ambo i lati e riempimento dell'intercapedine mediante materiale fono-assorbente, ed un rivestimento su entrambe le facce con il sistema fono-assorbente ligneo previsto per il rivestimento delle pareti (intervento 'a' del punto 16).

Il layout di progetto prevede di non eseguire interventi di compartimentazione nella zona centrale, in modo che possa essere utilizzata per ospitare eventi aziendali collettivi, mentre le altre aree vengono suddivise in aree più piccole e pertanto più silenziose, con particolare riferimento alle sei aree che ospitano al massimo un numero di persone variabile tra 40 e 80 a singola area.

Planimetria con indicazione degli schermi acustici biassorbenti

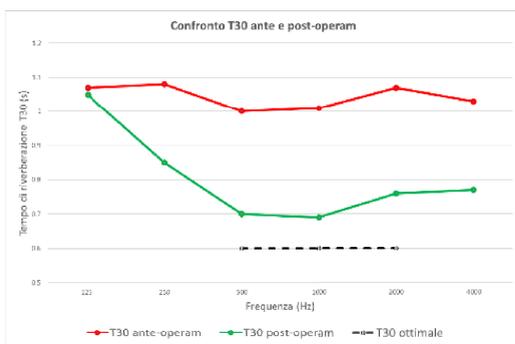


Stratigrafia proposta per gli schermi acustici biassorbenti



Verifica acustica di progetto degli interventi

Tempo di riverberazione T₃₀ (s) - post-operam



Risultati del T₃₀ simulato in condizione ante (a sinistra) e post-operam (a destra)

T30 Simulato ANTE-OPERAM							T30 Simulato POST-OPERAM							
T _{30,0}	125	250	500	1000	2000	4000	T _{30,0}	125	250	500	1000	2000	4000	T _{30,0} (ISO 10000)
T _{30,0}	1,07	1,08	1,1	1,01	1,07	1,03	1,09	1,05	0,85	0,70	0,69	0,76	0,77	0,72
T _{30,1}	1,1	1,23	1,11	1,13	1,24	1,16	1,16	1,08	0,89	0,79	0,78	0,82	0,84	0,80
T _{30,2}	1,07	1,08	0,95	0,94	1,03	0,97	0,97	1,06	0,78	0,65	0,64	0,71	0,72	0,67
T _{30,3}	1,04	1,13	1,12	1,18	1,16	1,09	1,15	1,04	0,89	0,79	0,78	0,79	0,83	0,79
T _{30,4}	1,12	1,15	1,07	1,09	1,15	1,08	1,10	1,06	0,9	0,71	0,69	0,80	0,79	0,75
T _{30,5}	1,11	1,14	1,07	1,08	1,14	1,09	1,10	1,08	0,82	0,73	0,72	0,77	0,77	0,74
T _{30,6}	1,09	1,06	0,97	0,97	1,03	0,99	0,99	1,06	0,82	0,69	0,67	0,72	0,76	0,69
T _{30,7}	1,1	1,08	1,1	0,99	1,05	1,01	1,01	1,08	0,84	0,71	0,71	0,76	0,78	0,73
T _{30,8}	1,09	1,11	1,03	1,02	1,09	1,04	1,04	1,06	0,84	0,69	0,68	0,75	0,76	0,71
T _{30,9}	1,08	1,08	1,01	1,01	1,07	1,03	1,03	1,08	0,85	0,71	0,69	0,76	0,77	0,72
T _{30,10}	1,1	1,02	0,95	0,96	1,02	0,97	0,98	1,09	0,97	0,76	0,63	0,68	0,70	0,63
T _{30,11}	1,1	1,01	0,92	0,92	0,97	0,93	0,94	1,09	0,99	0,78	0,67	0,66	0,69	0,62
T _{30,12}	1,05	1,14	1,06	1,07	1,12	1,09	1,08	1,13	1,03	0,79	0,68	0,66	0,69	0,68
T _{30,13}	1,04	1,01	0,92	0,91	0,99	0,96	0,94	1,13	1,06	0,88	0,69	0,69	0,79	0,82
T _{30,14}	1,03	0,95	0,9	0,89	0,94	0,93	0,91	1,14	1,05	0,82	0,66	0,65	0,75	0,77
T _{30,15}	1,06	1,07	0,99	0,98	1,04	1,03	1,01	1,15	1,09	0,96	0,72	0,72	0,92	0,79

Descrizione:

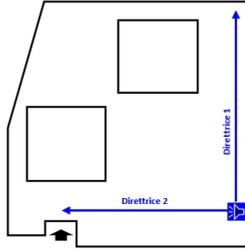
L'efficacia acustica degli interventi proposti a livello di simulazione acustica è stata quantificata in termini di riduzione del T₃₀ e di attenuazione dei livelli sonori post-operam rispetto a quelli ante-operam.

Tempo di riverberazione

Ai fini della valutazione della riduzione del T₃₀ è stato valutato lo scenario di progetto comprendente il rivestimento fono-assorbente delle pareti, le tende fono-assorbenti sulle vetrate (con eccezione della vetrata di ingresso) e gli schermi biassorbenti.

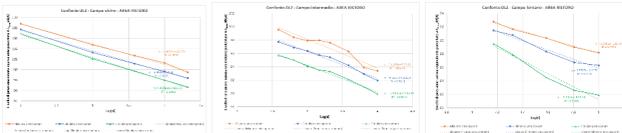
Lo scenario di calcolo ha previsto il posizionamento di una sorgente sonora omnidirezionale nella zona centrale della mensa e n. 28 punti di calcolo uniformemente distribuiti in tutte le aree della mensa. La riduzione del tempo di riverberazione dovuto agli interventi di progetto è particolarmente evidente alle medie e alte frequenze, dove la riduzione media è risultata pari a circa il 30% rispetto a quella ante-operam, passando da 1 secondo a 0.7 secondi.

Indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza, DL₂ dB(A)



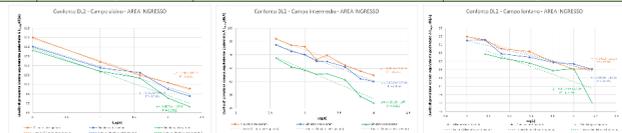
Direttrice 1

Globale	CAMPO VICINO					CAMPO INTERMEDIO					CAMPO LONTANO							
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m	20 m	24 m	28 m	32 m
L _{Aeq} dB SIMULATO POST	106.9	102.1	99.7	98	96.7	95.7	95	94.1	93.5	93.3	92.1	91	89.9	89.5	87.9	84.5	82.6	81.9
L _{Aeq} dB SIMULATO ANTE	4.4	2.4	1.7	1.3	1	0.7	0.9	0.6	0.2	1.2	1.1	1.1	0.4	1.6	1.4	1.9	0.7	
DL ₂	4.4					4					6.8							
L _{Aeq} dB MISURATO	107.7	103.3	101.2	99.7	98.4	97.7	96.9	96.4	95.8	95.4	94.2	92.9	91.9	91.5	90.8	88.3	86.7	86.3
DL ₂	4					4					6.8							
L _{Aeq} dB MISURATO	108.8	104.8	102.7	101.3	99.5	99.6	98.4	97.9	98.0	97.6	96.3	95.9	93.4	92.8	91.6	90.3	89.0	88.2
DL ₂ dB	3.9					4.1					5.5							



Direttrice 2

Globale	CAMPO VICINO					CAMPO INTERMEDIO					CAMPO LONTANO							
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m	20 m	24 m	28 m	32 m
L _{Aeq} dB SIMULATO POST	107.5	102.8	101.4	97.1	95.3	95.5	94.2	93.7	93.1	93.2	92.3	89.8	88.8	88.8	87.8	86.6	84.8	85.3
L _{Aeq} dB SIMULATO ANTE	108.0	103.6	102.5	99.0	97.5	97.5	96.5	96.0	95.3	95.0	94.2	92.4	92.0	92.2	88.9	88.0	86.8	85.1
DL ₂	5.3					4.4					7.1							
L _{Aeq} dB MISURATO	110.0	104.8	103.0	100.4	99.1	98.4	97.4	97.2	96.3	96.0	94.4	93.4	92.9	92.2	91.1	89.9	89.1	89.2
DL ₂ dB	4.7					3.9					7.1							



Descrizione:

Come mostrano le tabelle e i grafici riportati, il miglioramento del DL₂ è evidente soprattutto nel campo lontano dove, lungo la direttrice 1 che non prevede l'interposizione di schermi, si ha un netto incremento del parametro che passa da 6.8 dB(A) simulati in condizione ante-operam fino a 9.6 dB(A) per la condizione post-operam. Questo significa che, grazie agli interventi di progetto, al raddoppio della distanza nel campo lontano (oltre i 18 m dalla sorgente) i livelli sonori si riducono ulteriormente di circa 3 dB(A). Lungo la direttrice 2 l'incremento del DL₂ è principalmente dovuto alla presenza dell'effetto ombra dello schermo acustico presente lungo la stessa direttrice.

In ogni caso tutti i grafici mostrano come, a parità del livello sorgente, si ha una riduzione su tutti i punti di oltre 2 dB(A).

Livelli sonori L_{Aeq} dB(A) - Scenario 1

CONFIGURAZIONE ATTUALE	CONFIGURAZIONE POST 5			
	Ricevitori	L _{Aeq} [dB(A)]	Attenuazione Ante - Post 5	
1	53.9	1	44.0	9.8
2	52.9	2	48.7	4.3
3	50.6	3	45.9	4.7
4	49.7	4	44.1	5.7
5	48.9	5	38.5	10.5
6	48.8	6	43.5	5.3
7	48.4	7	40.9	7.5
8	49.7	8	42.0	7.7
9	46.9	9	40.1	6.8
10	45.2	10	39.3	5.9
11	46.6	11	42.7	3.9
12	45.4	12	34.7	10.7
13	45.0	13	36.1	8.9
14	44.2	14	39.9	4.4
15	101.2	15	92.1	9.1
16	98.8	16	91.9	6.9
17	99.5	17	93.1	6.4
18	52.1	18	48.9	3.2
19	51.4	19	45.2	6.2
20	52.5	20	45.4	7.0
21	52.6	21	47.4	5.2
22	52.3	22	46.6	5.6
23	51.1	23	48.8	2.3
24	48.9	24	44.7	4.2
25	50.8	25	47.1	3.7
26	49.6	26	46.3	3.3
27	49.6	27	47.2	2.4
28	49.1	28	45.8	3.3

Descrizione:

Livelli sonori

In corrispondenza dell'ipotesi di progetto sono state valutate separatamente diverse configurazioni di sorgenti.

Scenario 1

Il primo scenario di calcolo prevede il posizionamento di n. 14 sorgenti che simulano lo spettro di potenza sonora di un oratore con sforzo vocale elevato, n. 1 sorgente omnidirezionale in corrispondenza della zona dei carrelli dello sporco e n. 28 ricevitori, corrispondenti a circa 3 per ogni area oggetto di compartimentazione.

Il fine di questo modello, previa disattivazione della sorgente nella singola zona oggetto di valutazione, è valutare l'efficacia acustica degli interventi in ciascuna zona, in termini di attenuazione del rumore proveniente dalle altre zone verso quella oggetto di esame.

Risultati delle simulazioni dello Scenario 1

L'attenuazione del rumore proveniente dalle altre aree è risultata, a seconda dell'effetto ombra degli schermi, mediamente variabile tra:

- zona S1: 4-10 dB(A);
- zona S10: 4-10 dB(A);
- zona S12-13: 3-7 dB(A);
- zona S14: 6-9 dB(A);
- zona centrale: 2-4 dB(A).

I risultati mostrano come gli interventi proposti siano efficaci al fine di ridurre in maniera significativa la rumorosità delle altre aree verso una specifica area.

Livelli sonori L_{Aeq} dB(A) - Scenario 2

Ricevitori	Ante											dB(A)
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Lin	
1	60.2	59.4	58.1	77.3	72.4	64.3	57.2	47.1	44.9	44.9	78.9	72.8
2	60	59.1	57.6	76.8	72	63.5	56.5	46.6	43.7	43.2	78.4	72.3
3	61	60.2	59	78.3	73.5	65.1	57.4	47.6	44.8	44.4	79.9	73.8
4	60.6	59.8	58.4	77.6	72.6	64.3	57.3	47.3	44.6	44.2	79.1	73
5	60.9	60.2	58.9	78.3	73.4	65.1	57.9	48.1	45.2	44.9	79.9	73.8
6	60.4	59.6	58.3	77.7	73	64.6	57.5	47.7	44.6	44.3	79.3	73.3
7	59.9	59	57.6	77.2	72.5	64.1	57.2	47.4	44.3	43.8	78.8	72.9
8	60.4	59.7	58.5	77.9	73.2	65	57.5	47.8	45	44.7	79.5	73.6
9	60.8	60.1	58.9	78.4	73.7	65.4	58	48.4	45.6	45.4	80	74
10	59.4	58.7	57.7	76.5	71.8	63.5	55.6	45.6	43	42.6	78.1	72.1
11	59.7	58.9	57.9	76.8	72	63.7	56.3	46.3	43.6	43.2	78.4	72.3
12	58.9	58	56.7	75.7	70.7	62.3	54.9	44.9	42.2	41.7	77.2	71.1
13	59.2	58.5	57.3	77.1	72.2	63.9	57.3	47.2	44.5	44.5	78.6	72.6
14	60.9	60.2	59.1	78	73.1	64.9	57.3	47.1	44.7	44.3	79.6	73.5
15	60.8	60	58.7	77.6	72.6	64.2	57.2	47.1	44.5	44.1	79.1	73
16	60.3	59.5	58.2	77.5	72.3	64.1	57.4	47.3	45	44.8	79	72.8
17	59.7	58.9	57.7	77.1	72.3	64	57	47	44.3	43.9	78.6	72.6
18	60.3	59.5	58.3	77.2	72.8	64.5	56.7	47.2	44.2	43.7	78.9	73
19	60.4	59.7	58.6	77.6	72.6	64.3	57.2	47.3	44.5	44.1	79.1	73
20	57.6	56.7	55.3	74.4	69.3	61	54.2	44.4	41.3	40.8	75.9	69.8
21	58.8	58	57	76.4	71.6	63.3	56	46.3	43.4	43.3	77.9	71.9

Ricevitori	Post 5 b											dB(A)	Post 5 b - Ante
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Lin		
1	59.4	58.7	57.7	76.2	70.9	62.8	55.9	45.9	44	44.4	77.7	71.5	-1.3
2	59.1	58.3	57	75.2	70	61.2	54.3	44.8	41.7	41.6	76.7	70.4	-1.9
3	60.1	59.4	58.5	76.5	71	62.7	55	45.5	42.8	42.8	77.9	71.6	-2.2
4	59.7	58.9	57.8	76.1	70.8	62.4	55.5	45.6	42.9	43	77.6	71.4	-1.6
5	60.1	59.4	58.3	76.8	71.6	63.2	55.9	46.5	43.4	43.5	78.3	72.1	-1.7
6	59.6	58.9	57.8	76	70.7	62.3	55.4	45.8	42.7	42.8	77.5	71.2	-2.1
7	58.7	57.9	56.6	75.6	70.7	62.3	55.2	45.9	42.4	42.1	77.1	71.1	-1.8
8	59.6	58.9	57.9	76.7	71.8	63.5	55.7	46.4	43.4	43.4	78.2	72.2	-1.4
9	59.7	59	58.1	76.8	71.9	63.5	56	46.7	43.8	43.9	78.4	72.3	-1.7
10	59.1	58.4	57.6	75.9	70.9	62.5	54.7	44.8	42.3	42.2	77.4	71.3	-0.8
11	59.2	58.5	57.6	76.1	71.1	62.8	55.3	45.4	42.7	42.6	77.7	71.5	-0.8
12	57.8	57	55.8	73.9	68.2	59.6	52.3	42.4	40	39.8	75.3	69.9	-2.2
13	58.7	58	57	76.5	71.6	63.2	56.7	46.7	44	44.1	78	72	-0.6
14	60.4	59.9	58.9	77.6	72.7	64.4	56.7	46.9	44.4	44.2	79.1	71.1	-0.6
15	60.5	59.7	58.5	77.1	71.9	63.4	56.4	46.3	43.8	43.7	78.6	72.4	-0.6
16	59.9	59.1	58	76.7	71.2	63	56.3	46.3	44.1	44.2	78.1	71.9	-0.9
17	59.3	58.5	57.4	76.1	70.9	62.5	55.4	45.5	43	43	77.6	71.4	-1.2
18	59.1	58.1	56.7	74.1	68	59.4	52.6	43.1	40.5	40.3	75.5	69.9	-4.1
19	60.2	59.4	58.4	76.9	71.4	62.9	55.7	46	43.4	43.3	78.3	72	-1
20	57	56.1	55.1	73.5	68	59.7	53	43.5	40.5	40.5	74.9	68.7	-1.1
21	58.4	57.9	57.1	75.9	70.8	62.6	55.3	45.8	43	43.1	77.4	71.3	-0.6

Descrizione:

Scenario 2

Il secondo scenario di calcolo prevede il posizionamento di n. 331 sorgenti sonore che simulano lo spettro di potenza sonora di un oratore con sforzo vocale elevato e n. 21 ricevitori collocati nelle diverse zone della mensa. Il numero delle sorgenti del parlato è stato ricavato considerando una persona che parla ogni tre presenti (dato di letteratura) ed è stato tarato mediante il confronto con le misure effettuate a sala piena (punto P03). Il fine di questo modello è valutare l'efficacia acustica di tutti gli interventi in ciascuna zona, in termini di attenuazione del rumore proveniente dalla stessa zona, oltre che dalle altre zone. Questo modello consente inoltre di stimare i livelli di pressione sonora assoluti che saranno presenti successivamente alla messa in opera degli interventi.

Risultati delle simulazioni dello Scenario 2

In corrispondenza dell'ipotesi di intervento scelto si hanno attenuazioni massime dell'ordine di 2 dB(A) circa nelle zone maggiormente protette dagli interventi di schermo.

Tale risultato dimostra come, a fronte della presenza di molte sorgenti in tutte le aree della mensa, il contributo del rumore delle sorgenti presenti nella stessa area, sia prevalente nei confronti di quello proveniente dalle altre aree. Occorre però sottolineare che, in considerazione dell'effetto Lombard, tipico degli ambienti per la ristorazione, ovvero di innalzamento del livello del parlato proporzionato al rumore di fondo, pari a circa 1dB/dB, si può stimare che nelle zone più protette dagli interventi, il livello globale dovrebbe ridursi al di sotto dei 70 dB(A).

Analisi costo/beneficio

Non è stata realizzata una stima del costo/beneficio, ma una stima di massima del costo degli interventi ambientali proposti.

STIMA DI MASSIMA DEL COSTO DEGLI INTERVENTI (IPOTESI 2: tutti gli interventi)				
Voce dell'elemento	Unità di misura	Quantità	Costo unitario €/m2 IVA esclusa	Costo € IVA esclusa
1. RIVESTIMENTO FONOASSORBENTE PARETE TIPO 4akustik 13/3				
1.1 Fornitura e posa in opera di rivestimento a parete mediante pannelli tipo 4akustik 13/3, posati con intercapedine di 20 mm riempita mediante pannelli in fibra di poliestere, comprensiva di struttura e posa in opera.	mq	275.4	€ 120.00	€ 33,048.00
1. RIVESTIMENTO FONOASSORBENTE LIGNEO DELLE PARETI TIPO 4AKUSTIK 13/3				€ 33,048.00
2. SCHERMI FONOASSORBENTI				
2.1 Fornitura e posa in opera di parete in lastre di cartongesso di spessore 12.5 mm posati a lastra doppia su ambo i lati, orditura metallica 50 mm, riempimento dell'intercapedine mediante pannelli in fibra di poliestere spessore 50 mm e densità 30 kg/m2.	mq	145.9	€ 56.90	€ 8,301.71
2.2 Fornitura e posa in opera di struttura in acciaio per il fissaggio e consolidamento delle pareti libere di cui al punto precedente.	Kg	993	€ 1.50	€ 1,489.50
2.3 Fornitura e posa in opera di rivestimento a parete mediante pannelli tipo 4akustik 13/3, posati con intercapedine di 20 mm riempita mediante pannelli in fibra di poliestere, comprensiva di struttura e posa in opera.	mq	291.8	€ 120.00	€ 35,016.00
2. SCHERMI FONOASSORBENTI				€ 44,807.21
3. TENDE FONOASSORBENTI				
3.1 Fornitura di tende fonoassorbenti tipo Mottura mod. SUONO F.R. con movimento a catena dim. 0.7 (l) x 2.9 (h) m	cad	12	€ 393.00	€ 4,716.00
3.2 Fornitura di tende fonoassorbenti tipo Mottura mod. SUONO F.R. con movimento a catena dim. 1 (l) x 2.9 (h) m	cad	13	€ 413.00	€ 5,369.00
3.2 Fornitura di tende fonoassorbenti tipo Mottura mod. SUONO F.R. con movimento a catena dim. 1.5 (l) x 3.4 (h) m	cad	18	€ 520.00	€ 9,360.00
3.2 Posa in opera di tenda fonoassorbente su rullo.	h	64.0	€ 35.00	€ 2,240.00
3. TENDE FONOASSORBENTI COSTO INTERVENTI (€)				€ 21,685.00
				IVA esclusa € 99,540.21

Procedure di collaudo acustico

Non sono state elaborate procedure di collaudo acustico

INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

Progetto esecutivo

Non è stata effettuata la progettazione architettonica degli interventi.

DIREZIONE LAVORI

Conformità dei sistemi acustici

Lavori attualmente non ancora realizzati.

Controllo dell'esecuzione degli interventi

Lavori attualmente non ancora realizzati.

COLLAUDO ACUSTICO

Verifica dell'efficacia acustica degli interventi

Lavori attualmente non ancora realizzati.

INFORMAZIONI GENERALI

Classificazione dell'ambiente:	1. Ambiente industriale
Comparto:	Autovetture e componentistica
Periodo di riferimento:	2015-2017
Tipologia intervento:	riduzione del rumore degli impianti esistenti
Superficie dell'ambiente (m ²):	24.800
Volume dell'ambiente (m ³):	248.000
Altezza media dell'ambiente (m):	10

FASE DI ANALISI DOCUMENTALE

Raccolta dati

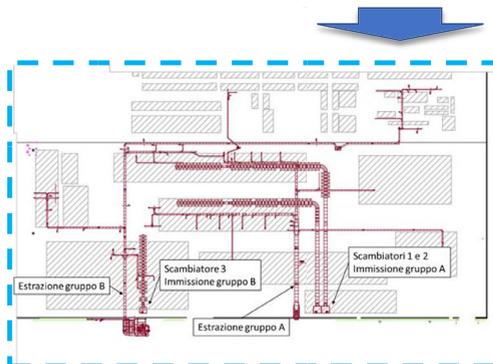
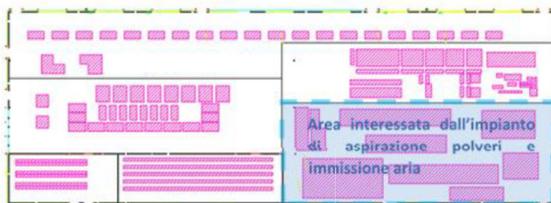
- Piante, prospetti e sezioni.
- Layout degli arredi.
- Progetto degli impianti di riscaldamento, aspirazione polveri e immissione aria.

Definizione dell'impianto ed individuazione delle sorgenti acustiche

Schema planimetrico dello stabilimento - impianto di riscaldamento



Schema planimetrico dello stabilimento - impianto estrazione polveri e immissione aria



Descrizione:

Lo stabilimento è composto da tre impianti centralizzati composti da condotti d'aria:

1. Impianto di riscaldamento
2. Impianto di estrazione delle polveri
3. Impianto di immissione aria

L'impianto di riscaldamento è composto da nove UTA installate in serie tra loro e disposte lungo i lati longitudinali dello stabilimento. La distribuzione di mandata dell'aria viene effettuata mediante un sistema duale di canali che corrono lungo i lati dello stabilimento e sono dotati di ugelli per la diffusione dell'aria. Ogni UTA è dotata di una griglia di ripresa, pertanto il sistema non è dotato di aria esterna di rinnovo.

Le UTA sono posizionate su di un sopralco dedicato a circa 6,00 m di altezza rispetto al piano di calpestio.

I ventilatori delle UTA sono stati regolati in modo che il getto degli ugelli dei canali raggiunga l'asse centrale dello stabilimento (circa 50 metri) e garantisca il condizionamento uniforme di tutto l'ambiente.

Le principali sorgenti acustiche dell'impianto sono le UTA, il rumore rigenerato prodotto dagli ugelli delle condotte e il rumore di Break-out dei canali.

L'impianto di estrazione polveri è composto da due sistemi di ventilazione posti in ambiente esterno e dotati di cisterne per la raccolta delle polveri. L'impianto è composto da canali con una bocca di estrazione posta su ogni macchina della produzione. La velocità dell'aria all'interno dei condotti viene mantenuta molto elevata e pari a 18-20 m/s al fine di garantire l'estrazione dei residui delle lavorazioni senza creare depositi all'interno delle canalizzazioni. Le principali sorgenti di questo impianto sono le canalizzazioni e le bocche di aspirazione poste su ogni macchina della produzione.

L'impianto di immissione aria è un sistema composto da due scambiatori di calore dotati di ventilatore e da un sistema di canali microforati. L'impianto preleva aria dall'ambiente esterno e la immette in interno al fine di compensare la sotto-pressione generata dall'impianto di estrazione polveri.

Raccolta schede tecniche e manuali d'uso

Per lo svolgimento del lavoro, oltre al progetto impiantistico, sono state acquisite le schede tecniche delle macchine e le caratteristiche dei condotti dell'aria. Inoltre, da colloqui sul posto con i manutentori si sono ricavate le seguenti informazioni di interesse:

- l'impianto di riscaldamento ha un funzionamento in regime stazionario e mantiene una pressione statica costante all'interno dei canali pari a 320 Pa. Il controllo del comfort termico viene svolto mediante la variazione della temperatura dell'aria a portata costante. I condotti sono a sezione circolare di diametro pari a 800 mm;
- l'impianto di aspirazione polveri non ha una capacità modulante. Ogni bocca di aspirazione è dotata di valvola elettromeccanica controllata dal funzionamento attivo o non attivo della specifica macchina da lavoro. La velocità dell'aria dei condotti è pari a circa 20-25 m/s;
- l'impianto di immissione aria è dotato di motori a giri fissi che si attivano quando l'impianto di aspirazione polveri è funzionante. La portata d'aria è regolata manualmente ed è impostata per fornire un reintegro di aria pari alla massima capacità di estrazione dell'impianto di aspirazione polveri.

Definizione degli obiettivi

Riduzione del rumore degli impianti al fine di migliorare il comfort acustico dell'ambiente interno ove si svolgono le attività lavorative.

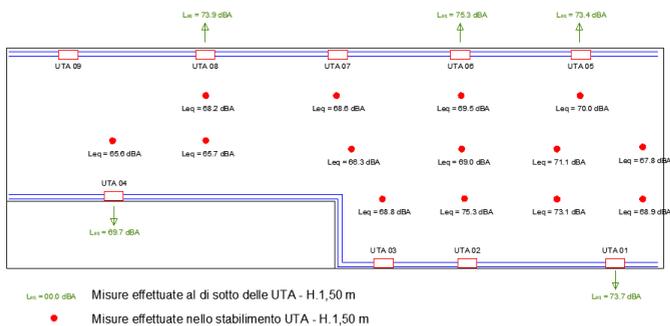
FASE di ANALISI OPERATIVA

Misure del rumore di fondo

Sono state svolte misure fonometriche del rumore di fondo (produzione ferma e impianti centralizzati spenti) in postazioni casuali distribuite nelle varie aree dello stabilimento. Nello stabilimento è presente un livello medio ponderato A del rumore di fondo pari a circa $L_{eq} = 51$ dB(A), con un valore massimo pari a $L_{eq} = 52.7$ dB(A) ed un valore minimo pari a $L_{eq} = 49.1$ dB(A).

Misure con impianti tecnici attivi

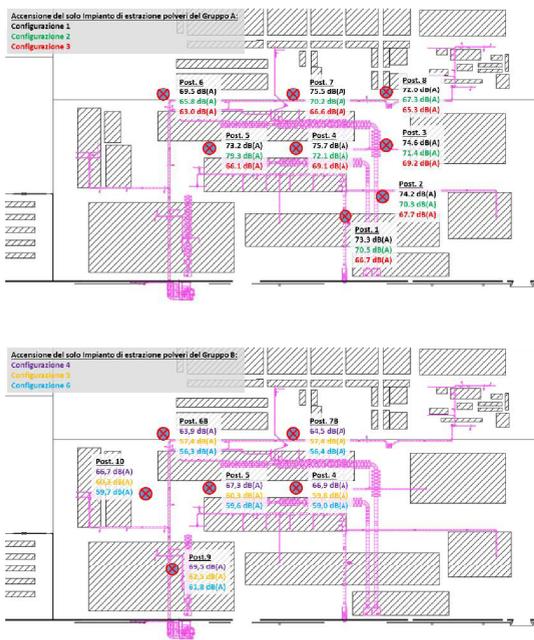
Misure fonometriche del rumore con impianto di riscaldamento attivo



Descrizione:

Nella planimetria a fianco si riportano le misure effettuate con impianto di condizionamento attivo. In particolare, si sono svolti rilevamenti fonometrici ad altezza 1,50 m dal piano di calpestio, sia al di sotto del soppalco, ove sono appoggiate le macchine, sia in punti dislocati in modo uniforme all'interno dello stabilimento. Il rumore presente nello stabilimento è rappresentato sia dalle emissioni delle UTA che dalle emissioni rumorose delle canalizzazioni, mentre, le misure svolte al di sotto delle UTA sono prevalentemente influenzate dalla rumorosità della sola macchina. Essendo tutte le UTA uguali tra loro e aventi circa il medesimo regime di funzionamento si è potuto riscontrare un livello di pressione sonora pari a circa 73-74 dB(A) al di sotto della macchina.

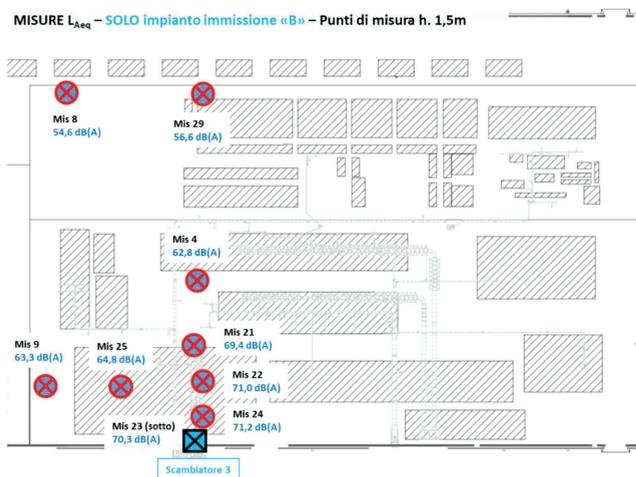
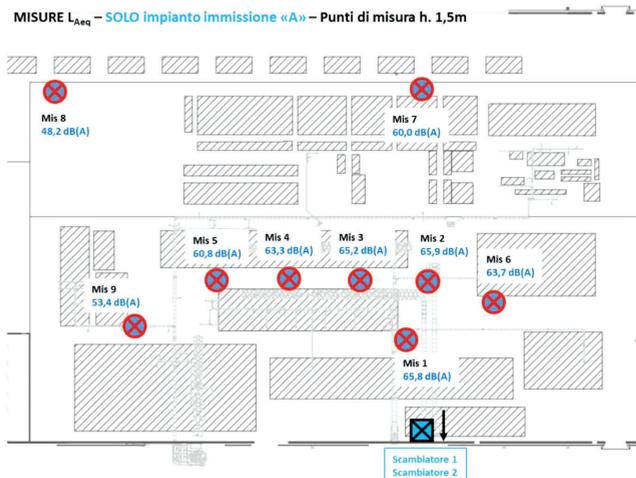
Misure fonometriche del rumore con impianto di aspirazione polveri attivo



Descrizione:

Nella planimetria a fianco si riportano alcune misure fonometriche effettuate ad 1,50 m dal piano di calpestio rappresentative dei livelli di rumore dei due distinti impianti di aspirazione polveri mediante la disattivazione degli altri impianti. Sono presenti due impianti di aspirazione polveri (gruppo A e gruppo B). Entrambi sono stati oggetto di misurazioni. L'impianto non ha la capacità di modulare la portata dell'aria in base agli effettivi bisogni, ma, comunque, è stato scelto di forzare manualmente il numero di giri dei ventilatori al fine di comprendere il rumore a regimi parziali e quindi valutare gli effettivi miglioramenti nel caso di riduzione della portata d'aria. Sono state svolte in contemporanea misure fonometriche e misure di velocità dell'aria all'interno del tratto di canale posto nelle immediate vicinanze della postazione di misura. La lettura della velocità dell'aria ha permesso di verificare la sostenibilità dell'attuazione di un regime parziale in riferimento alle necessità dell'aspirazione.

Misure fonometriche del rumore con impianto di immissione aria



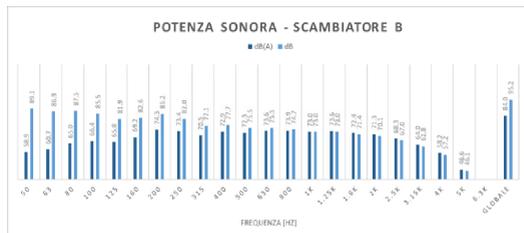
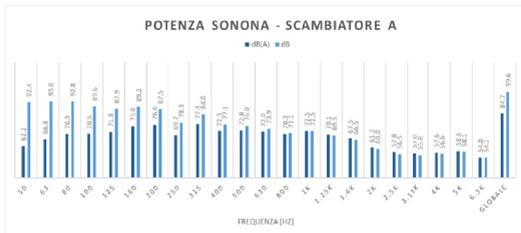
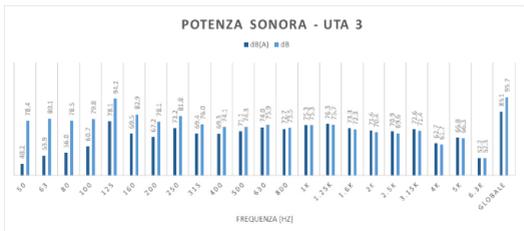
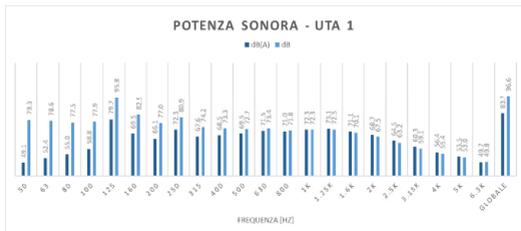
Descrizione:

Nella planimetria a fianco si riportano alcune misure fonometriche effettuate ad 1,50 m dal piano di calpestio rappresentative dei livelli di rumore dei due distinti impianti di immissione aria mediante disattivazione degli altri impianti. Sono presenti due impianti di immissione aria ('A' e 'B'). Entrambi sono stati oggetto di misurazioni.

In entrambi i sistemi si può notare come i livelli di rumore siano maggiormente elevati nelle immediate vicinanze degli scambiatori. Ciò significa che oltre al rumore rigenerato dei condotti è presente una forte componente proveniente dagli scambiatori di calore che propagano mediante l'involucro stesso della macchina.

Caratterizzazione acustica delle macchine dell'impianto

Alcune macchine degli impianti sono installate in ambiente interno e contribuiscono all'aumento dei livelli di rumore interni allo stabilimento. A tal proposito, mediante misure fonometriche svolte ad 1,50 m dal piano di calpestio (si veda punto 6) non è possibile assegnare la quota parte di energia che proviene dall'involucro della macchina piuttosto che alle canalizzazioni dell'impianto. Al fine di comprendere nelle attuali condizioni di lavoro l'emissione delle macchine dell'impianto di riscaldamento e le macchine dell'impianto di immissione aria, si sono svolte misure intensimetriche per caratterizzare le specifiche sorgenti in riferimento alla tecnica di misura per scansione definita dalla norma UNI EN ISO 9614-2:1998. Questa tipologia di indagine svolta a breve distanza dalla sorgente permette di rilevare l'energia uscente dall'involucro delle macchine. In particolare, per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento, dato che tutte le UTA sono uguali ed hanno lo stesso regime di funzionamento, sono state caratterizzate due sole macchine: UTA 1 e UTA 3. Per quanto riguarda l'impianto di immissione aria sono stati caratterizzati entrambi gli scambiatori 'A' e 'B'. Di seguito si riportano i risultati in termini di livello di potenza sonora in dB e dB(A) calcolati a partire dall'intensità acustica misurata e dalla superficie di misura che racchiude la macchina specifica.



Misure per la caratterizzazione delle canalizzazioni dell'aria

Contemporaneamente alle misure fonometriche svolte ad 1,50 m dal piano di calpestio (si veda punto 6), sono state svolte misure intensimetriche a breve distanza al fine di poter determinare il rumore emesso dai diversi tratti di canale. Nello specifico, per quanto riguarda il sistema di aspirazione polveri sono state effettuate misure modificando le condizioni di funzionamento dell'impianto in regimi parziali in modo da comprendere l'effettivo beneficio che si può ottenere riducendo la portata d'aria. Di seguito si riporta la tabella contenente i risultati delle misure intensimetriche svolte sui canali dell'impianto di aspirazione polveri. Il livello di potenza sonora dei tratti di canale è stato determinato mediante calcolo a partire dai livelli di intensità misurati a breve distanza dalla superficie dello specifico tratto di canale.

Misure intensimetriche - Livelli di potenza sonora dei canali di aspirazione polveri in funzione delle velocità dell'aria

Impianto	Posizione	Superficie della sorgente in esame			Tipo di configurazione	Livelli di Potenza sonora (Lw)		Velocità dell'aria nei canali	Percentuale di riduzione della velocità dell'aria (%)	Riduzione di L _{WA} dB(A)
		Diametro canale (m)	Lunghezza (m)	Superficie (mq)		Globale (dB)	Globale dB(A)			
Gruppo Estrazione polveri A	canale principale diametro 1120mm	1.12	1	3.5	1	76.2	68.7	13.58	0	-
		1.12	1	3.5	2	73.0	62.1	11.71	13.8	6.5
		1.12	1	3.5	3	73.0	61.1	9.95	26.7	7.6
	canale diramazione diametro 600mm	0.6	1	1.9	1	73.8	64.1	20.60	0	-
		0.6	1	1.9	2	66.2	60.5	15.58	24.4	3.6
		0.6	1	1.9	3	67.4	53.6	12.87	37.5	10.5
Gruppo Estrazione polveri B	canale principale diametro 650mm	0.65	1	2.0	1	72.6	59.5	21.69	0	-
		0.65	1	2.0	2	66.8	53.5	14.87	31.4	6.0
		0.65	1	2.0	3	63.0	52.7	13.86	36.1	6.8
	canale diramazione diametro 400mm	0.4	1	1.3	1	63.1	56.1	16.39	0	-
		0.4	1	1.3	2	64.6	49.2	11.57	29.4	6.9
		0.4	1	1.3	3	65.3	48.4	10.56	35.6	7.7

Misure di vibrazioni

Per la tipologia di indagine non è stato necessario svolgere misure delle vibrazioni.

Costruzione modello acustico e implementazione delle sorgenti impianti tecnici. Individuazione di possibili strategie di intervento sugli impianti tecnici

Le misure effettuate hanno portato alla caratterizzazione delle sorgenti degli impianti tecnici dello stabilimento. Tali sorgenti sono state inserite nel modello acustico dello stabilimento opportunamente validato. Il modello acustico è stato quindi utilizzato per definire il contributo dei diversi impianti tecnici nelle diverse zone dello stabilimento.

La conoscenza approfondita degli impianti nella fase di indagine ante-operam e le campagne di misura effettuate hanno anche permesso di ipotizzare le possibili strategie di intervento descritte di seguito.

Interventi all'impianto di riscaldamento:

- realizzazione di box acustico (fonoisolante e fono-assorbente) alle UTA con applicazione di griglia afonica alle bocche di ripresa;
- applicazione di un regime di funzionamento variabile delle macchine in funzione delle effettive richieste.

Interventi all'impianto di aspirazione polveri:

- sostituzione del ventilatore a giri fissi con un sistema a inverter a giri variabili, al fine di aumentare il range di funzionamento a regimi parziali;
- installazione di bocchette di by-pass che aspirano aria dall'ambiente esterno.

Interventi all'impianto di immissione aria:

- installazione di motori inverter al fine di poter regolare in modo automatico la giusta quantità di aria da immettere in funzione degli effettivi bisogni dell'ambiente.

FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

Definizione delle tipologie di intervento

In accordo alle strategie di intervento proposte e alle valutazioni e necessità del Committente, è stato ritenuto di procedere con i seguenti interventi:

- regolazione del regime di funzionamento delle UTA previa riduzione della pressione statica di mandata all'interno delle condotte con conseguente riduzione del rumore rigenerato che si sviluppa all'interno dei condotti e dalla fuoriuscita dell'aria attraverso i canali microforati;
- installazione di motori inverter sia per l'impianto di aspirazione polveri, sia per l'impianto di immissione aria in modo da far funzionare entrambi i sistemi a regimi parziali in funzione delle effettive richieste delle macchine della produzione.

Fattibilità tecnica

Per la tipologia di intervento non vi sono vincoli tecnici, a eccezione del mantenimento delle corrette condizioni di comfort termoigrometrico e della giusta portata del sistema di aspirazione polveri.

Simulazione acustica di efficacia degli interventi

Attraverso il modello acustico sopra definito sono state implementate le soluzioni proposte.

Analisi costo/benefici

Il costo dell'intervento sull'impianto di riscaldamento è nullo in quanto si tratta della ottimizzazione del regime di funzionamento, mentre per la sostituzione dei motori dell'impianto di immissione aria ed aspirazione polveri è stata stimata una spesa pari a circa 70.000 €.

Procedure di collaudo acustico

La verifica acustica di efficacia è costituita da misure omogeneamente distribuite nello stabilimento con previsioni di attenuazione media pari a 8 dB(A) per il rumore prodotto dai soli impianti tecnici (produzione non attiva).

DIREZIONE LAVORI

conformità dei sistemi acustici

Per la tipologia di intervento non è stata necessaria la direzione dei lavori.

Controllo dell'esecuzione degli interventi

Per la tipologia di intervento non è stata necessaria la direzione dei lavori.

COLLAUDO ACUSTICO

Terminate le regolazioni dell'impianto di immissione aria e la sostituzione dei motori si sono svolte misure fonometriche alle medesime postazioni di cui agli scenari ante-operam. Da queste misure è risultato quanto segue:

Impianto di riscaldamento

Nella configurazione ante-operam la pressione interna ai canali risultava essere pari a 320 Pa, la configurazione post-operam ha consentito di ridurre la pressione interna dei canali fino al valore di 250 Pa. Come conseguenza di ciò si è determinata la riduzione della velocità dell'aria all'interno dei canali e pertanto anche una riduzione dell'energia sonora emessa dai canali stessi. In particolare, la riduzione della velocità dei ventilatori ha prodotto una riduzione del rumore rigenerato dei canali ed una riduzione delle emissioni dell'UTA stessa. Da rilievi fonometrici post-operam si è potuto riscontrare un miglioramento al di sotto delle UTA, a breve distanza, pari a circa 12 dB(A), mentre, circa nelle aree di lavoro centrali allo stabilimento si è potuto verificare una riduzione del rumore pari a circa 7-8 dB(A).

Impianto immissione aria e aspirazione polveri

L'effettivo beneficio prodotto dalla sostituzione dei motori dei ventilatori con la tipologia a giri variabili è stato principalmente nel poter gestire l'impianto in caso di funzionamenti parziali delle macchine utensili dello stabilimento. Di fatto, la condizione di contemporaneità di attivazione delle macchine utensili si verifica in casi sporadici e pertanto l'impianto ha un funzionamento parziale per quasi la totalità del tempo. Di fatto, nelle condizioni normali di funzionamento, è stata ottenuta una riduzione media alle postazioni di misura ad 1,50 m pari a circa 5-6 dB(A).

INFORMAZIONI GENERALI

Classificazione dell'ambiente:	1. Campo tiro al volo
Comparto:	Ambiente ad elevati livelli di rumore
Periodo di riferimento:	2019
Tipologia intervento:	Riduzione del rumore verso i lavoratori
Superficie dell'ambiente (m ²):	ambiente esterno
Volume dell'ambiente (m ³):	-
Altezza media dell'ambiente (m):	-

FASE DI ANALISI

A.1 ANALISI DEL QUADRO CONOSCITIVO

Raccolta dati

- Planimetria del campo di tiro a volo;
- Organizzazione dei tempi e modalità di svolgimento delle esercitazioni;

Raccolta informazioni e dei processi produttivi

	<p>Descrizione:</p> <p>L'area oggetto di indagine è composta da cinque piazzole per tiro al volo ognuna delle quali ha una pedana con sei postazioni di tiro. Sul retro delle pedane è presente la viabilità di servizio del campo dedicata al passaggio degli operatori. In ogni pedana può sparare solo un tiratore per volta. La problematica di questo ambiente di lavoro interessa la protezione dal rumore generato dagli spari sia per lo sparatore sia verso le aree di servizio limitrofe alla pedana.</p>
--	---

Sorgenti acustiche

La sorgente acustica è rappresentata dal tiro dell'arma da fuoco

Raccolta schede tecniche e manuali d'uso

Non presente

Individuazione delle postazioni di lavoro fisse e mobili

In considerazione dell'obiettivo dello studio, ovvero la riduzione del rumore nelle aree di servizio limitrofe alla pedana di tiro, si è tenuto conto delle postazioni di lavoro rappresentate principalmente dalla posizione dell'operatore nella strada di servizio posta dietro le pedane.

Definizione dei descrittori e dei valori obiettivo

Descrittori utilizzati per lo studio acustico:

- livello di rumore generato dallo sparo (L_{Aeq} dB(A); L_{Ceq} [dBC]; L_{Cpicco} [dBC]);

Individuazione degli obiettivi:

- applicazione dei corretti DPI uditivi allo sparatore e agli operati posti sulla pedana di tiro;
- riduzione del rumore nelle aree di servizio limitrofe poste sul retro della pedana (strada di servizio).

A.2 FASE DI ANALISI OPERATIVA - ACQUISIZIONE DATI

Misure di caratterizzazione dell'ambiente

Ambiente esterno non necessarie.

Misure di rumore di fondo

Ritenute non necessarie.

Misure degli impianti tecnici

Non presenti.

Mappatura acustica

Non è stata effettuata la mappatura acustica.

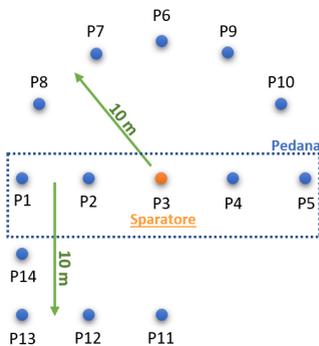
Analisi delle vibrazioni

Non necessaria.

Caratterizzazione acustica delle sorgenti

Descrizione:

Per la caratterizzazione acustica della sorgente (sparo di un'arma da fuoco), sono state effettuate misure ad una distanza di 10m dallo sparatore in punti noti in modo da costruire anche la direttività della sorgente in esame. Il livelli di potenza sonora è stato calcolato secondo una procedura simile a quella indicata dalla norma UNI EN ISO 3744:2010. Il particolare, in ogni misura sono stati rilevati due spari per una durata di ogni misura di circa 10-13 secondi. Essendo il ciclo di ogni sessione di tiro (presentazione del tiratore in pedana, chiusura dell'arma, chiamata del piattello, esecuzione di uno/due spari, scaricamento, allontanamento dalla pedana), pari ad una durata minima di circa 30 secondi, ogni descrittore in termini di livello di pressione sonora ponderato A e C è stato normalizzato su 30 secondi. La postazione P3 è rappresentativa del rumore in prossimità dell'orecchio dello sparatore.



Postazione	Frequenza [Hz] - [dB]										L _{eq,30sec} [dB(A)]	L _{eq,30sec} [dB(C)]	L _{peak} [dB(C)]
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000			
1	70.9	77.1	89.1	90.9	93.4	94.5	94.4	92.5	88.4	83.7	100.1	100.6	142.5
2	73.1	77.5	88.4	93.8	96.0	97.0	97.2	95.8	92.2	88.1	102.7	102.8	147.2
3	72.4	74.8	92.3	95.6	97.2	100.3	101.6	100.7	96.4	93.2	106.9	106.7	154.8
4	72.2	76.7	86.9	91.4	93.8	95.7	96.1	94.5	91.7	87.1	101.8	101.8	145.7
5	70.0	74.5	85.8	88.1	93.0	93.8	93.4	92.1	88.3	83.1	99.1	99.3	140.5
6	80.7	87.6	91.5	94.0	100.6	103.5	99.6	97.0	93.0	89.6	106.7	106.9	155.7
7	74.8	82.9	88.1	88.1	94.7	92.0	90.3	86.8	82.2	78.4	98.3	99.6	147.1
8	71.2	78.2	82.7	83.8	88.4	88.9	87.8	84.7	80.7	76.6	93.5	94.2	141.0
9	74.6	82.9	87.6	88.6	96.5	93.7	91.9	88.5	84.0	80.4	99.2	100.4	148.8
10	71.5	78.6	83.8	84.1	88.3	88.5	88.7	85.0	82.1	76.8	94.5	94.9	141.5
11	60.3	65.4	72.1	74.7	79.3	79.8	80.5	79.5	74.3	67.6	86.3	86.3	129.9
12	60.8	66.4	72.4	73.8	78.1	78.3	79.6	79.0	73.7	66.6	85.4	85.4	129.6
13	60.6	66.5	72.6	72.5	76.9	76.4	78.8	78.2	72.8	65.2	84.3	84.3	129.2
14	61.8	67.6	72.3	74.4	78.5	79.9	79.7	79.5	74.2	67.6	86.0	86.0	130.3

Misure di vibrazione

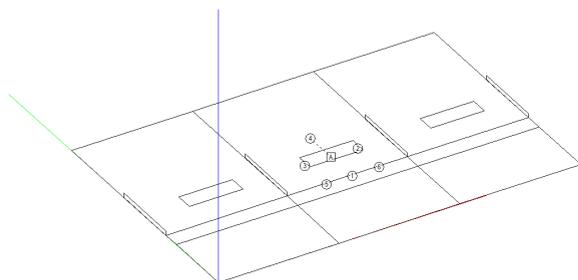
Non necessarie.

Rilievo geometrico e materico dello stabilimento

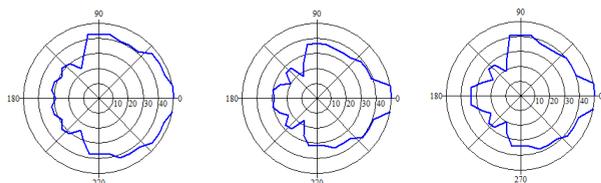
Sono state svolte misure metriche della piazzola di tiro.

Costruzione del modello acustico tridimensionale dell'ambiente

1.3D del modello di simulazione



Direttività della sorgente a 125Hz, 1000Hz, 4000Hz



Descrizione:

Il modello è stato costruito riproducendo tre delle cinque piazzole di tiro ponendo la sorgente sulla pedana del campo centrale.

Il livello di potenza sonora e la direttività della sorgente è stata calcolata sulla base delle misure effettuate a breve distanza dallo sparatore e riportate al punto 12.

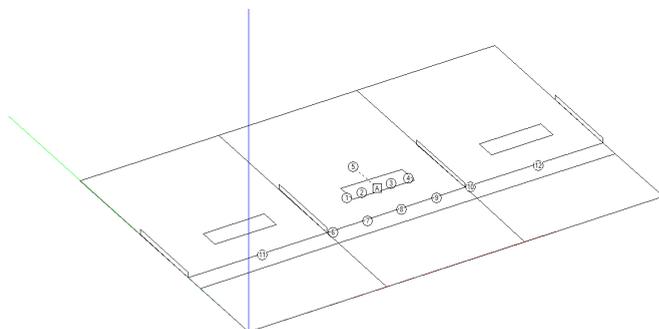
Successivamente il modello acustico è stato validato mediante il confronto tra i livelli di pressione sonora misurati e simulati nelle postazioni più significative (P1, P6, P5, P11 e P13). Il modello è stato ritenuto validato in quanto le differenze tra i valori misurati e simulati sono risultati contenuti entro ± 2 dB.

Calcolo dei livelli di pressione sonora ante-operam

Descrizione:

Il modello di simulazione acustica è stato implementato con punti-ricettore ritenuti significativi al fine di valutare il disturbo sia nella zona della pedana in prossimità dello sparatore, sia nella stada di servizio posta su retro.

Dall'analisi dei risultati si evince che anche sulla strada di servizio, utilizzata solitamente dall'operatore del campo di tiro per muoversi da una pedana all'altra, sono presenti livelli di pressione sonora tali da necessitare l'adozione di DPI uditivi in quanto risultano essere superiori ai valori di azione riportati nel d.lgs. 81/2008.



Punto ricettore	Ante-operam
	[dB(A)]
	Livello sorgente
1	101.8
2	105.5
3	103.9
4	97.8
5	106.2
6	80.5
7	86.3
8	87.0
9	87.5
10	81.4
11	83.3
12	79.9

Individuazione di possibili strategie di intervento

I risultati delle misure fonometriche e della simulazione acustica mostrano come la rumorosità prodotta dalla sorgente dello sparo sia particolarmente rumorosa nella zona della pedana e comunque di entità non trascurabile anche in punti a maggior distanza quali le aree del campo non direttamente interessate dall'esercitazione.

Le possibili strategie di intervento che hanno guidato l'analisi riguardano la ricerca del giusto DPI uditivo per lo sparatore e per gli operatori posti nella zona della pedana, mentre, per la protezione verso le aree di servizio limitrofe è stata proposta l'installazione di barriere fonoisolanti e fono-assorbenti da installare circa nell'intorno della pedana al fine di ridurre il rumore al di sotto dei limiti di azione indicati nel d.lgs. 81/2008.

FASE DI PROGETTAZIONE ACUSTICA

Definizione delle tipologie di intervento

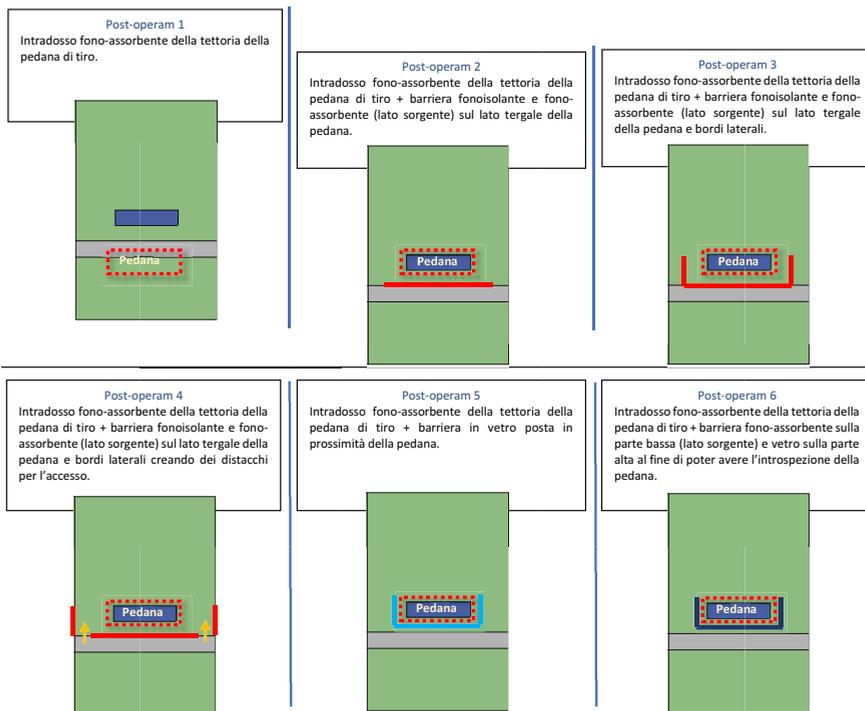
In accordo alle strategie di cui al punto 17, sono state valutate alcuni scenari post-operam contenenti diverse soluzioni di barriere acustiche di altezza pari a 3 m poste sul retro e sui lati della pedana di tiro.

Fattibilità tecnica

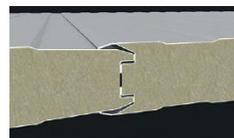
Non si sono riscontrate particolari difficoltà tecniche per la realizzazione delle barriere acustiche.

Definizione degli interventi

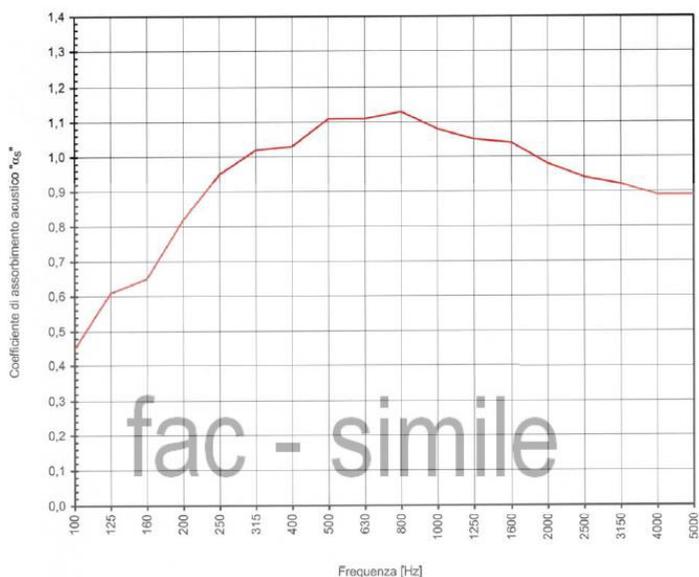
Per quanto riguarda la realizzazione delle barriere acustiche si sono analizzati sei scenari post-operam che tengono conto di varie forme e materiale della barriera stessa al fine di fornire al Committente varie soluzioni adeguate sia dal punto di vista acustico così da poter scegliere la soluzione migliore anche dal punto di vista funzionale.



Dati acustici dei pannelli fonoisolanti e fono-assorbenti utilizzati per la progettazione acustica



Pannelli fonoisolanti e fono-assorbenti in lana di roccia e lamiera a vista su entrambi i lati. Una delle due superfici (lato sorgente) è microforata al fine di renderla fono-assorbente. Spessore del pannello 100 mm. Isolamento acustico certificato da prova di laboratorio $R_w (C; C_{tr}) = 34 \text{ dB} (-2; -4)$. Nella figura seguente si riporta il grafico del coefficiente di assorbimento acustico tratto dal certificato di laboratorio fornito dal produttore.



Verifica acustica di progetto degli interventi

Nelle tabelle che seguono si sono riportati i risultati delle simulazioni acustiche degli scenari post-operam descritti al punto 20 in termini di livello sorgente in [dB(A)] e l'attenuazione prodotta rispetto allo scenario ante-operam. In particolare, osservando i risultati singolarmente si possono evidenziare le seguenti osservazioni:

- Post-operam 1:** l'applicazione di una superficie fono-assorbente all'intradosso della tettoia della pedana ha prodotto un miglioramento medio di circa 3 dB(A) alle postazioni che si trovano in prossimità dello sparatore, ma non ha portato attenuazioni rilevanti alle postazioni più lontane verso le aree al di fuori della piazzola di tiro.
- Post-operam 2:** rimane il miglioramento introdotto dall'intradosso fono-assorbente della copertura della pedana, ed inoltre, la barriera posta sul confine della strada di servizio permette di ottenere un miglioramento importante nell'intorno della barriera stessa ottenendo valori di poco al di sotto del limite di azione del d.lgs. 81/08 pari a 80 dB(A), mentre, nei punti più distanti (P11 e P12) non vi sono miglioramenti.
- Post-operam 3:** questo scenario è uguale a quello proposto al Post-operam 2 con l'aggiunta di due barriere laterali. Questa soluzione permette di incrementare in modo sensibile la riduzione del rumore nelle aree di servizio posteriori alla pedana di tiro. In particolare, si ottengono valori al di sotto dei limiti di azione del d.lgs. 81/2008 anche sulle postazioni P11 e P12.
- Post-operam 4:** questo scenario prevede di traslare le barriere laterali creando due accessi laterali alla zona di tiro. Essendo le piazzole una accanto all'altra queste barriere possono essere fono-assorbenti su entrambe le facce in modo che siano efficaci anche sulle piazzole a confine. Dai risultati si nota come le due aperture laterali creino un decremento delle prestazioni in alcuni punti posteriori che comunque rimangono contenuti nei limiti di azione del d.lgs. 81/2008.

Post-operam 5: questo scenario prevede la realizzazione di una barriera totalmente in vetro di forma ad 'U' posta a breve distanza dalla pedana di tiro. Osservando i risultati si può notare che nei punti al di sotto della pedana si annullano i benefici della tettoia della pedana resa fono-assorbente. In particolare, ipotizzando che rimanga riflettente, come risulta essere nello scenario ante-operam, le riflessioni della barriera in vetro produrrebbero un incremento dei livelli alle postazioni sotto la pedana pari a circa 3 dB(A). Allo stesso tempo, si ottengono attenuazione rilevanti nelle postazioni a distanza sul retro della pedana di tiro.

Post-operam 6: questo scenario è simile al Post-operam 5 con la differenza che la fascia a terra della barriera (per un'altezza pari ad un metro) è resa opaca con superficie fono-assorbente lato sorgente. Dal risultato della simulazione si può osservare che questo scenario non produce variazioni sensibili in termini di attenuazione sonora rispetto allo scenario Post-operam 5.

Punto ricettore	Ante-operam	Post-operam 1		Post-operam 2		Post-operam 3	
	[dB(A)]	[dB(A)]		[dB(A)]		[dB(A)]	
	Livello sorgente	Livello sorgente	Attenuazione	Livello sorgente	Attenuazione	Livello sorgente	Attenuazione
1	101.8	98.2	3.6	98.4	3.4	97.9	3.9
2	105.5	103.3	2.2	103.3	2.2	103.2	2.3
3	103.9	101.0	2.9	101.0	2.9	101.0	2.9
4	97.8	93.8	4.0	93.7	4.1	93.3	4.5
5	106.2	106.0	0.2	106.0	0.2	106.0	0.2
6	80.5	79.8	0.7	68.6	11.9	63.1	17.4
7	86.3	84.4	1.9	73.1	13.2	59.5	26.8
8	87.0	86.6	0.4	73.8	13.2	63.3	23.7
9	87.5	85.5	2.0	74.2	13.3	59.5	28.0
10	81.4	81.5	-0.1	73.5	7.9	61.5	19.9
11	83.3	83.1	0.2	82.5	0.8	73.1	10.2
12	79.9	80.1	-0.2	80.0	-0.1	68.0	11.9

Punto ricettore	Ante-operam	Post-operam 4		Post-operam 5		Post-operam 6	
	[dB(A)]	[dB(A)]		[dB(A)]		[dB(A)]	
	Livello sorgente	Livello sorgente	Attenuazione	Livello sorgente	Attenuazione	Livello sorgente	Attenuazione
1	101.8	97.9	3.9	101.7	0.1	101.6	0.2
2	105.5	103.2	2.3	104.3	1.2	104.1	1.4
3	103.9	101.0	2.9	102.4	1.5	102.1	1.8
4	97.8	93.3	4.5	98.6	-0.8	98.1	-0.3
5	106.2	106.0	0.2	106.0	0.2	106.0	0.2
6	80.5	68.8	11.7	61.9	18.6	61.9	18.6
7	86.3	69.4	16.9	67.5	18.8	67.0	19.3
8	87.0	71.2	15.8	66.0	21.0	65.4	21.6
9	87.5	69.0	18.5	64.5	23.0	64.4	23.1
10	81.4	68.7	12.7	62.1	19.3	61.7	19.7
11	83.3	74.3	9.0	69.2	14.1	69.1	14.2
12	79.9	73.4	6.5	64.3	15.6	64.1	15.8

Analisi costo/beneficio

Non è stata effettuata un'analisi costo/benefici.

Procedure di collaudo acustico

Non è stata definita una specifica procedura di collaudo degli interventi

INGEGNERIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

Progetto esecutivo

Non è stata effettuata la progettazione architettonica degli interventi.

Conformità dei sistemi acustici

Gli interventi non sono stati ancora realizzati.

Controllo dell'esecuzione degli interventi

Gli interventi non sono stati ancora realizzati.

COLLAUDO ACUSTICO

Verifica dell'efficacia acustica degli interventi

Gli interventi non sono stati ancora realizzati.