



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

**FACOLTA' DI FARMACIA E MEDICINA**

Corso di laurea di primo livello in  
**Tecniche della prevenzione nell'ambiente e nei luoghi  
di lavoro**

TESI DI LAUREA

**IL RISCHIO RUMORE NEGLI AMBIENTI SCOLASTICI.  
INDAGINI IN ALCUNI EDIFICI D'ISTRUZIONE DELLA PROVINCIA DI  
ROMA.**

Relatore  
Prof. Luigi Barbato

Laureanda  
Francesca Caroselli  
Matricola 978578

ANNO ACCADEMICO 2011- 2012

## INDICE

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>5</b>
<b>CAPITOLO I Il rumore e il suono.....</b>	<b>7</b>
1.1 Definizione.....	7
1.2 Natura del fenomeno sonoro.....	7
1.3 Grandezze fondamentali.....	8
1.4 Campo di udibilità dell'orecchio umano.....	9
1.5 La scala dei Decibel.....	11
1.6 Valutazione delle sensazioni sonore e strumentazione per la misurazione del livello sonoro.....	12
1.7 Curve di ponderazione.....	13
<b>CAPITOLO II L'apparato uditivo e i principali effetti del rumore.....</b>	<b>14</b>
2.1 Cenni di anatomia dell'orecchio.....	14
2.2 Breve descrizione del processo di ricezione del suono.....	17
2.3 Effetti uditivi del rumore sull'uomo.....	17
2.4 Misura della capacità uditiva.....	19
2.5 Effetti extrauditivi.....	21
2.6 Il danno da rumore: le sostanze ototossiche.....	22
<b>CAPITOLO III Quadro normativo.....</b>	<b>24</b>
3.1 Decreto Legislativo 81/08: Titolo VIII Capo II.....	24
3.2 Legge Quadro 447/95 e DPCM 14/11/97.....	29
3.3 Normativa nazionale in tema di acustica degli ambienti scolastici.....	35
3.4 Legislazione internazionale.....	37

**CAPITOLO IV Indagini sul rumore esterno e interno agli edifici scolastici.....41**

- 4.1 Rumore esterno e interno.....41  
4.2 Il Rumore come fattore di disturbo sui risultati scolastici.....43

**CAPITOLO V Il comfort acustico degli ambienti scolastici e l'intelligibilità del parlato.....45**

- 5.1 Fattori che pregiudicano la comprensione del messaggio verbale e l'acustica delle aule scolastiche.....45  
5.2 Il rumore e l'intelligibilità del parlato.....46  
5.3 Descrittori dell'intelligibilità del parlato.....49

**CAPITOLO VI Inquinamento acustico, sforzo vocale e malattie professionali.....51**

- 6.1 Il disturbo vocale degli insegnanti e la prevenzione primaria delle disfonie.....51  
6.2 Eziopatogenesi dello sforzo vocale e il suo "circolo vizioso".....52  
6.3 Inail e malattie professionale del personale docente.....54

**CAPITOLO VII Casi studio.....57**

- 7.1 Casi studio.....57  
7.2 Liceo Scientifico "*Falcone Borsellino*" di Zagarolo.....60  
7.3 Scuola Primaria e dell'Infanzia "*Goffredo Mameli*" di Palestrina.....61  
7.4 Scuola Primaria e dell'Infanzia "*Karol Wojtyla*" di Palestrina.....66  
7.5 Indagini sui livelli di esposizione al rumore degli insegnanti di scuola Primaria e Superiore.....70

**CAPITOLO VIII Soluzioni per migliorare l'acustica degli ambienti scolastici.....73**

8.1 Assorbimento sonoro.....	73
8.2 Materiali fonoassorbenti porosi, fibrosi ed a celle aperte.....	73
8.3 Osservazioni sui valori di T60 e suggerimenti per interventi di bonifica dei locali scolastici.....	77
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>87</b>
<b>ALLEGATI.....</b>	<b>92</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>116</b>

## INTRODUZIONE

La scuola si configura da sempre come contesto di trasmissione del sapere, luogo privilegiato per l'apprendimento e non in ultimo luogo di lavoro sicuro e salutare per tutti gli attori che operano al suo interno. Negli ambienti scolastici si può essere esposti potenzialmente a diversi rischi per la salute e la sicurezza.

Gli edifici scolastici oltre a soddisfare primariamente i bisogni pedagogici, legati alla formazione degli allievi, devono rispondere a caratteristiche favorevoli di sicurezza e accessibilità per chi giornalmente li frequenta a qualsiasi titolo. Le aule, le palestre, le mense, le aule di musica, a volte, sono caratterizzate da elevati livelli di rumore ed eccessiva riverberazione, tali da ridurre profondamente la qualità dell'ascolto, dell'insegnamento e della formazione in generale; in alcuni casi non soddisfano i requisiti acustici minimi per renderli idonei alla loro funzione. In fase di progettazione e di realizzazione sarebbe importante focalizzare l'attenzione su alcuni fattori: in primo luogo la promozione e tutela delle condizioni di benessere e rispetto della sicurezza, seguiti dalla collocazione urbanistica, la distribuzione degli spazi, il tipo di arredi, i colori degli ambienti e non in ultimo la protezione dal rumore. I soggetti che risentono delle conseguenze causate da un'acustica non adeguata sono studenti e insegnanti, questi ultimi possono essere esposti a patologie vocali, con tutti i disagi e le sensazioni di malessere ad essi correlati, la cattiva intelligibilità della parola e la difficoltà di comprensione e apprendimento da parte degli alunni.

Nel seguente lavoro si focalizzerà principalmente l'attenzione su uno specifico fattore di rischio scarsamente preso in considerazione: IL RISCHIO RUMORE. L'esposizione al rumore, in base alle sue caratteristiche fisiche e temporali può causare effetti diretti sull'apparato uditivo ed effetti extrauditivi nei quali possiamo ricomprendere anche l'interferenza sulla comunicazione verbale e quindi sull'apprendimento definiti effetti psicofisiologici, sulla salute mentale e sulle prestazioni oltre al disturbo o fastidio genericamente inteso.

Lo scopo del mio studio è pertanto quello di esaminare alcuni ambienti scolastici per verificare i livelli di rumorosità interni, l' idoneità delle caratteristiche acustiche al fine di compiere un' analisi comparativa tra i dati raccolti, i dati di letteratura e quanto previsto dalla normativa vigente. A chiosa del lavoro si procederà a formulare delle proposte migliorative di bonifica degli ambienti scolastici esaminati.

# CAPITOLO I

## Il rumore e il suono

### 1.1 Definizione

Il rumore è comunemente identificato come un “suono non desiderato” o come una “sensazione uditiva sgradevole e fastidiosa o intollerabile”. Dal punto di vista fisico il rumore ha delle caratteristiche che possono essere in parte identificate con quelle del suono. Fattori soggettivi concorrono alla distinzione tra i due fenomeni acustici.

Sia un suono sia un rumore sono caratterizzati dall’apporto di energia meccanica che fa entrare in vibrazione un mezzo, generalmente l’aria.

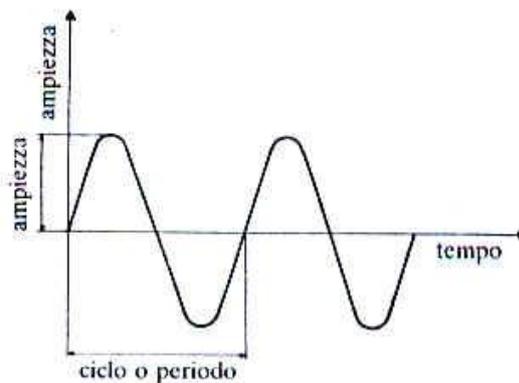
### 1.2 Natura del fenomeno sonoro

Il suono è una perturbazione di carattere oscillatorio che si propaga in un mezzo elastico (gas, liquido o solido), in grado di eccitare il senso dell’udito. Più specificatamente accade che una sorgente sonora trasmette vibrazioni al fluido circostante, le quali si propagano nel mezzo come una serie di compressioni e rarefazioni delle particelle d’aria che oscillano intorno alla posizione di equilibrio stabile. Tali compressioni e rarefazioni si traducono in una variazione della pressione rispetto alla pressione atmosferica media e giungono all’orecchio producendo la sensazione sonora. La velocità con la quale il suono si diffonde, è influenzata dal mezzo elastico in cui avviene la propagazione stessa che, nel caso di più comune interesse negli ambienti di lavoro, è l’aria (a 20°C, la velocità di propagazione è di circa 340 m/s). Tale velocità, se paragonata a quella di altre forme di energia (come la luce o la corrente elettrica), è sufficientemente bassa da rendere il fattore tempo un parametro indicativo per una descrizione accurata del fenomeno acustico. (La velocità del suono non deve essere confusa con la velocità delle molecole: solo la perturbazione di pressione si propaga, mentre le molecole conservano mediamente la stessa posizione oscillando intorno ad un punto di

equilibrio). Nel vuoto, non essendoci alcun mezzo elastico, non può esistere alcun suono.

### 1.3 Grandezze fondamentali

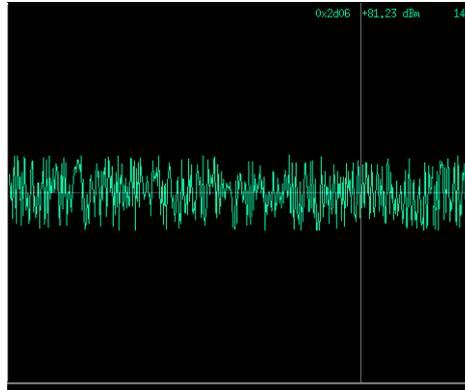
I fenomeni ondulatori possono essere rappresentati da un'onda sinusoidale e descritti attraverso le seguenti grandezze fisiche: la *lunghezza d'onda* che indica lo spazio percorso dall'onda in un periodo; il *periodo* (T) ovvero l'intervallo di tempo necessario a completare un ciclo (è uguale al reciproco della frequenza:  $T=1/f$ ); l'*ampiezza* che caratterizza il livello della sensazione uditiva; la *frequenza* (f) che indica il numero di cicli completi nell'unità di tempo e si misura in Hertz (1Hertz=1 ciclo/sec). Quest'ultima grandezza caratterizza la tonalità del suono percepito, infatti, le basse frequenze sono proprie dei toni gravi mentre le alte dei toni acuti.



Rappresentazione grafica di un suono puro

I fenomeni sonori sinusoidali sono detti suoni puri ma non sono presenti in natura. I suoni presenti nella realtà sono suoni complessi cioè oscillazioni non rappresentabili con una semplice senoide ma da una combinazione di suoni sinusoidali. Se le componenti del suono complesso hanno frequenze che sono multipli interi di una più bassa frequenza, definita frequenza fondamentale, il suono è detto suono armonico o periodico, dove il numero, la posizione, le intensità delle armoniche determinano il timbro del suono.

Quando le frequenze sono del tutto incoerenti tra loro, il suono è detto suono aperiodico ed è la caratteristica che contraddistingue il rumore.



Rappresentazione grafica del rumore

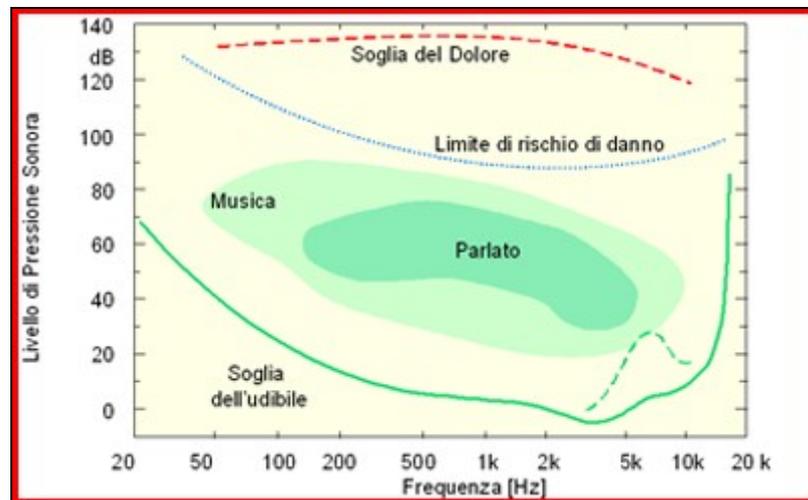
La capacità di una sorgente di emettere energia sonora è inoltre correlata a ulteriori tre grandezze fondamentali (descrittori dell'evento sonoro): la potenza acustica (W) riferita alla sorgente in esame, l'intensità acustica ( $W/m^2$ ) e la pressione acustica (Pa) entrambe riferite al campo sonoro. La potenza acustica è l'energia emessa dalla sorgente sonora nell'unità di tempo ed è una grandezza scalare; l'intensità acustica, grandezza vettoriale, esprime il valore e la direzione del flusso netto di potenza acustica in una certa posizione nello spazio e infine la pressione acustica, grandezza scalare, definita come la differenza tra la pressione  $p(t)$  esistente in un dato istante e quella  $p(0)$  esistente prima dell'inizio del fenomeno sonoro.

#### 1.4 Campo di udibilità dell'orecchio umano

La capacità dell'udito umano varia da individuo a individuo, e decade nelle prestazioni con l'aumentare dell'età. Appositi studi hanno stabilito che mediamente l'uomo è in grado di udire suoni la cui frequenza è compresa dai 20 ai 20.000 Hz. e intensità da 0 a 120 dB. Tale gamma di suoni è chiamata campo (o intervallo) di udibilità dello spettro delle frequenze sonore. I suoni la cui frequenza è al di sotto dei 20 Hz sono chiamati

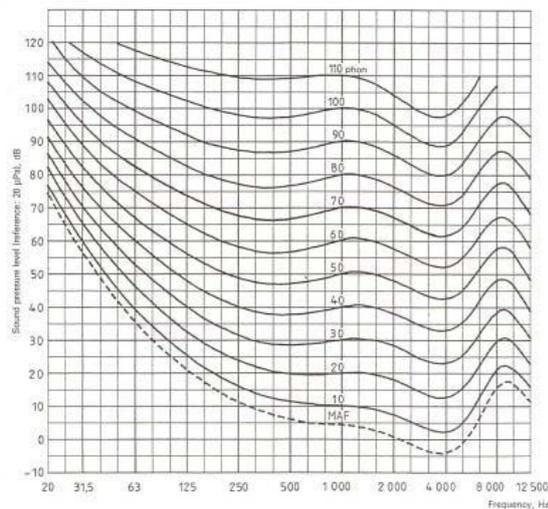
infrasuoni, i suoni la cui frequenza eccede i 20.000 Hz sono chiamati ultrasuoni.

Il campo uditivo normale è costituito, graficamente, da due curve paraboliche che delimitano un'area ovoidale. Tutti i toni percepibili dall'orecchio umano sono compresi in questa zona. Queste due curve costituiscono rispettivamente la soglia di minima e di massima udibilità, la quale, rappresenta la soglia oltre la quale la vibrazione acustica non è più percepita come suono, ma come "sensazione dolorosa". La massima sensibilità dell'orecchio è compresa tra 2000 e 4000 Hz.



La sensibilità del nostro orecchio non è costante per tutte le frequenze: sente molto meglio nell'area che va da circa 300 a circa 3000 Hz, corrispondente l'area del linguaggio parlato, ma soprattutto sente molto meno sulle frequenze basse. Questo accade perché il condotto uditivo ha una lunghezza tale da provocare un'area di risonanza a circa 3000 Hz. Di conseguenza il livello sonoro percepito non corrisponde all'ampiezza fisica. La figura seguente mostra le cosiddette curve isofoniche (elaborate da Fletcher e Munson e note anche con il nome dei due ricercatori) che mappano la sensazione di livello sonoro effettivamente percepito rispetto ai dB per le varie frequenze. La linea tratteggiata rappresenta la soglia di udibilità quindi possiamo osservare per esempio, che un suono avente una frequenza di 31,5

Hz ed un'intensità di 30 decibel, non viene percepito dall'orecchio umano. Le curve del disegno uniscono i punti in cui alle varie frequenze le sensazioni dell'intensità del suono sono uguali, ad esempio se un suono a 1000Hz di intensità 20 dB mi produce una certa sensazione, per avere quella stessa sensazione a 63 Hz avrò bisogno di circa 45 dB. Per esprimere l'intensità sonora, non secondo i parametri fisici, ma secondo quelli dalla sensibilità umana, è introdotta una nuova unità di misura: il *phon* che rappresenta linearmente la sensazione dell'intensità sonora.



Curve di iso-sensibilità dell'organo uditivo umano

### 1.5 La scala dei Decibel

I valori di pressione, potenza e intensità acustica dei suoni si distribuiscono in un intervallo di valori molto esteso. Per rappresentare in termini numerici o grafici fenomeni compresi fra valori estremamente variabili, e per evitare di impiegare numeri molto grandi, si è convenuto far ricorso a quantità logaritmiche, tenendo conto del fatto che dal punto di vista fisiologico, la percezione del livello di pressione sonora all'orecchio è sensibilmente proporzionale al logaritmo dell'intensità dello stimolo acustico impattante. Pertanto, è stata introdotta una scala di misura acustica che adotta come unità di riferimento il decibel (dB).

Il livello L, espresso in dB, è definito come dieci volte il logaritmo decimale del rapporto tra una data grandezza misurata (G) e una grandezza di riferimento ( $G_0$ ). Tradotto in formula:

$$L = 10 \log (G/ G_0) \text{ dB}$$

Nel caso della pressione sonora si avrà:

$$L = 10 \log (P^2/ P_0^2) \text{ dB} = 20 \log (P/ P_0) \text{ (dB)}$$

dove P è il valore della pressione sonora in esame e  $P_0$  ( $2 \times 10^{-5}$  Pa) è il valore di soglia di udibilità a 1000 Hz. Il livello di pressione sonora costituisce la grandezza più impiegata nell'ambito delle misurazioni di rumorosità negli ambienti di lavoro, poiché è strettamente correlata al potenziale danno all'apparato uditivo e alla percezione stessa del rumore.

La particolarità dei livelli sonori di esprimersi su scala logaritmica, determina l'impossibilità di sommarli tra loro in modo aritmetico. In particolare si ha che, il livello sonoro complessivo, prodotto da due sorgenti con livelli sonori uguali, è di soli 3 dB superiore ad uno dei livelli sonori componenti (ad es.: 80 dB + 80 dB = 83 dB). Per rendere meglio l'idea è possibile affermare che ad un aumento di 3 dB corrisponde un raddoppio del rumore.

#### 1.6 Valutazione delle sensazioni sonore e strumentazione per la misurazione del livello sonoro

Al fine di valutare le sensazioni sonore, occorre impiegare strumenti di misura in grado di imitare i processi fisiologici. Lo strumento idoneo a misurare il livello sonoro è il fonometro, che trasforma la pressione sonora in segnale elettrico, da elaborare successivamente in maniera opportuna, in modo da ottenere degli indici di descrittori del livello di rumore. Il fonometro consente di misurare i seguenti parametri:

- 1) livello di pressione sonora efficace;
- 2) livello sonoro continuo equivalente valutato secondo la curva di ponderazione A. Tale grandezza rappresenta il livello, espresso in dB, di un ipotetico rumore costante che, se sostituito al rumore reale per lo stesso

intervallo T, comporterebbe la stessa quantità totale di energia sonora. (L'aggettivo equivalente sottolinea che, l'energia associata al rumore costante e quella del rumore variabile sono uguali).

3)livello di esposizione sonora SEL (Sound Exposure Level).

4)livello di picco: valore massimo della pressione acustica istantanea ponderata in frequenza "C".

### 1.7 Curve di ponderazione

Al fine di correlare il rilievo oggettivo delle pressioni sonore alle sensazioni soggettive medie, gli strumenti di analisi acustica impiegano dei filtri di ponderazione (elettrici, elettronici o digitali), che attenuano le componenti del suono aventi frequenze alle quali l'orecchio umano ha sensibilità ridotta. Per la normalizzazione di questi filtri sono state definite 4 curve di ponderazione: Curva A la quale fornisce risultati indicati come dB(A) molto vicini alla risposta dell'orecchio umano; Curva B attualmente in disuso, la quale da valori intermedi tra la curva A e la C; Curva C che fornisce approssimativamente la misura del rumore reale ed utilizzata nel nostro caso per misurare il livello di picco; Curva D che è stata introdotta per valutare livelli molto forti, con particolare riferimento al rumore prodotto dagli aerei. A seconda della curva di ponderazione utilizzata, i valori saranno definiti in dB(A), dB(C) ecc. Per garantire la rilevazione di suoni di breve durata e con continue fluttuazioni, il fonometro è predisposto per dare una risposta secondo costanti di tempo: lenta (slow), veloce (fast), impulsiva (impulse) e di picco (peak). I valori di riferimento solitamente sono indicati in dBA slow, quindi riferiti al rumore continuo.

## CAPITOLO II

### L'apparato uditivo e i principali effetti del rumore

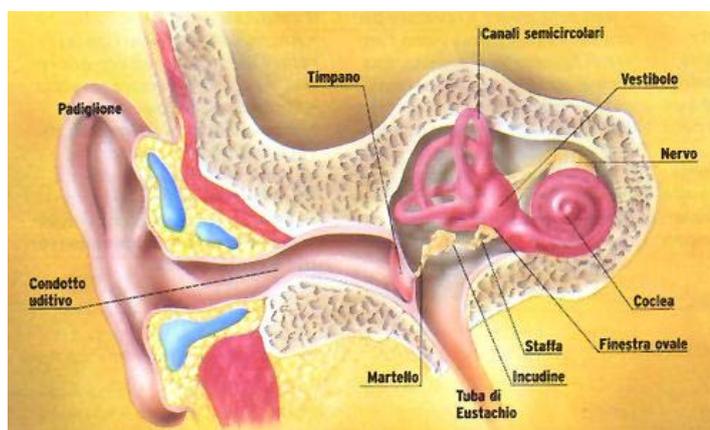
#### 2.1 Cenni di anatomia dell'orecchio

Dal punto di vista anatomico, l'orecchio è un organo pari e simmetrico che può essere suddiviso in tre regioni: orecchio esterno, le cui strutture servono a raccogliere e convogliare le onde sonore verso le strutture più interne, orecchio medio che funziona da tramite tra l'esterno e l'interno e serve a trasformare le onde di pressione sonora in vibrazioni meccaniche, ed infine l'orecchio interno, elemento organizzatore e recettore dei suoni, che trasforma l'energia cinetica delle vibrazioni meccaniche in energia elettrochimica, per poi inviarla all'area acustica della corteccia cerebrale.

L'orecchio esterno origina dal padiglione auricolare, struttura fibrocartilaginea, che presenta vari rilievi e depressioni e la cui parte centrale detta "conca" si continua internamente a formare il terzo laterale del condotto uditivo esterno (stretto tubo dalle pareti lisce provvisto di peli, ghiandole sebacee e ceruminose, il cui secreto simile a cera, ha funzione protettiva). I due terzi del c.u.e. sono costituiti da un condotto osseo che termina a livello della membrana timpanica, o timpano, sottile lamina che lo separa dall'orecchio medio.

L'orecchio medio, anche definito cavità timpanica, consiste in una cavità ossea contenente aria, in comunicazione con le cellule mastoidee del processo mastoideo dell'osso temporale e con il rinofaringe attraverso la tuba uditiva, anche detta tuba di Eustachio, che permette di mantenere in equilibrio la pressione dell'orecchio medio con la pressione atmosferica media. L'orecchio medio contiene la catena ossiculare costituita da tre ossicini: martello, connesso a tre punti della superficie interna del timpano, l'incudine che connette il martello alla staffa, la cui base occupa quasi completamente la finestra ovale, piccola apertura dell'orecchio interno. La vibrazione del timpano converte le onde sonore in arrivo in movimenti meccanici degli ossicini che, agendo come leve, trasferiscono le vibrazioni

all'orecchio interno. (Poiché il timpano è molto più grande e resistente della membrana della finestra ovale, l'entità del movimento aumenta dal timpano alla finestra). L'orecchio medio è inoltre caratterizzato dalla presenza di due piccoli muscoli che proteggono la cavità e gli ossicini uditivi da movimenti violenti, a seguito di rumori molto forti. Il muscolo tensore del timpano, tirando il martello, aumenta la tensione del timpano riducendo l'escursione del movimento. Il muscolo stapedio, tirando la staffa, ne riduce il movimento a livello della finestra ovale.



La sensibilità relativa all'equilibrio e all'udito è recepita da recettori situati nell'orecchio interno, protetti dal labirinto osseo, la cui parete esterna risulta fusa con l'osso temporale circostante. Il labirinto osseo avvolge il labirinto membranoso pieno di endolinfa. Nello spazio compreso tra il labirinto osseo e quello membranoso scorre la perilinfia. Il labirinto osseo può essere suddiviso nelle seguenti parti: il vestibolo contenente due sacche membranose, il sacculo e l'utricolo, a cui i recettori forniscono informazioni riguardanti la gravità e l'accelerazione lineare; i canali semicirculari che accolgono i sottili condotti semicirculari, i cui recettori sono stimolati dalla rotazione della testa. Si parla generalmente di complesso vestibolare, costituito da vestibolo e canali semicirculari, perché la cavità del vestibolo, ripiena di endolinfa, è in continuità con quella dei canali semicirculari. La coclea, porzione ossea, ha una forma che richiama quella di una chiocciola e contiene il condotto cocleare, o scala media, il quale si trova compreso tra

due camere ripiene di perilinfa: il condotto vestibolare e il condotto timpanico. Le cellule capellute del condotto cocleare si trovano nell'organo del Corti, struttura sensoriale situata sopra la membrana basilare che separa il condotto cocleare da quello timpanico. Le cellule capellute sono disposte in file longitudinali a contatto con la sovrastante membrana tectoria, strettamente unita alla parete interna del dotto cocleare. Quando le onde pressorie della perilinfa spingono una parte della membrana basilare, le stereociglia vengono distorte e compresse contro la membrana tectoria. E' importante sottolineare che, a fronte di un suono puro di una data frequenza, il massimo della ampiezza di oscillazione della membrana basilare è localizzato in una regione ben delimitata della membrana. La posizione di questa regione dipende dalla frequenza del suono. Per ogni frequenza c'è dunque una regione di massima sensibilità della membrana (regione di risonanza). Più bassa è la frequenza e più la regione di risonanza è prossima all'*Apex* (elicotrema). L'estensione delle frequenze udibili va da 16 Hz a 20 kHz. e l'estensione di frequenze che va approssimativamente da 20 Hz fino a 4000 Hz copre circa i due terzi della membrana basilare (dai 12 ai 35 mm dalla base). La rimanente porzione della scala di frequenze (4000 - 16000 Hz) è compressa nel rimanente terzo.

La stimolazione delle cellule capellute determina l'attivazione dei neuroni sensitivi, i cui pirenofori si trovano nel vicino ganglio spirale. Le fibre afferenti (assoni) formano il ramo cocleare del nervo vestibolococleare (VIII NC) che entra nel bulbo per fare sinapsi nel nucleo cocleare. Da qui partono le fibre che, incrociandosi con la linea mediana, ascendono sul lato opposto fino al collicolo inferiore del mesencefalo. Questo è un centro di elaborazione che coordina numerose risposte a stimoli acustici, compresi i riflessi uditivi che coinvolgono i muscoli scheletrici della testa, della faccia e del tronco (ad esempio questi riflessi cambiano automaticamente la posizione della testa in risposta ad un rumore improvviso, acuto). Le fibre, prima di raggiungere la corteccia celebrale e divenire coscienti, fanno sinapsi nel talamo e da qui sono proiettate alla corteccia acustica del lobo

temporale. La corteccia acustica contiene una mappa precisa dell'organo del Corti, per cui i suoni ad alta frequenza attivano una determinata porzione della corteccia, e suoni a bassa frequenza ne attivano un'altra.

## 2.2 Breve descrizione del processo di ricezione del suono

Il meccanismo che è alla base della ricezione del suono può essere riassunto come segue. Le onde sonore, provenienti dall'esterno, vengono convogliate dal padiglione auricolare, attraverso il c.u.e., alla membrana del timpano la quale vibrando, determina lo spostamento della catena ossiculare. Il movimento della staffa comprime la finestra ovale, generando un'onda pressoria sulla perilinfa del condotto vestibolare. Le onde pressorie, a loro volta, provocano movimenti della membrana basilare sul lato rivolto verso la finestra rotonda del condotto timpanico (suoni ad alta frequenza provocano la distorsione della porzione di membrana basilare più vicina alla finestra ovale, mentre suoni a bassa frequenza provocano la distorsione della porzione più lontana dalla finestra ovale). L'entità del movimento in un punto dipende dalla forza applicata sulla staffa. Più basso è il suono, maggiore sarà il movimento della membrana basilare. Successivamente accade che la vibrazione della membrana basilare fa vibrare le cellule capillate contro la membrana tectoria. Lo spostamento delle cellule determina il rilascio di neurotrasmettitore e quindi la stimolazione dei neuroni sensitivi. Le informazioni riguardanti la porzione di condotto cocleare stimolata e l'intensità della stimolazione sono trasportate al SNC attraverso il ramo cocleare dell'VIII nervo cranico.

## 2.3 Effetti uditivi del rumore sull'uomo

Il rumore può lasciare nell'uomo una traccia indelebile, negativa sia per la salute che per la sicurezza. Il danno da rumore meglio conosciuto è quello a carico dell'organo dell'udito. Tuttavia il rumore agisce con meccanismi complessi su vari organi e apparati. Determina, inoltre, un effetto di mascheramento che disturba le comunicazioni verbali e la percezione dei

segnali acustici di sicurezza, favorisce l'insorgenza della fatica mentale, e può provocare turbe nell'apprendimento. Le variabili che contribuiscono alla potenziale dannosità del rumore sono classificabili in "primarie" quali la pressione sonora, la frequenza di esposizione, il tempo di esposizione; "secondarie" quali le modalità di emissione, la presenza di componenti impulsive, effetto di mascheramento, livelli di esposizione, tempo di recupero, caratteristiche spettrali, presenza di componenti tonali (infrarossi, ultrasuoni); "accessorie" legate ad una sensibilità individuale, al contenuto, ecc.

L'esposizione prolungata a rumori di elevata intensità provoca una serie di alterazioni a carico delle strutture neurosensoriali dell'orecchio interno. La sede principale in cui si realizzano i danni è l'organo del Corti e a subirne le conseguenze sono generalmente le cellule ciliate esterne. La possibile rottura della membrana cellulare, seguita dalla morte della cellula e distacco dalla membrana basilare, impedisce un eventuale processo ripartivo. Tali lesioni irreversibili si manifestano con innalzamento permanente della soglia uditiva. La perdita delle cellule uditive è irreversibile e può essere causata da fattori fisici, tossici nonché da un fisiologico processo d'invecchiamento. Il danno da rumore può manifestarsi in varie forme a seconda che esso sia dovuto a una prolungata esposizione, a livelli d'intensità sonora variabile oppure a uno stimolo acustico intenso e di breve durata. Secondo la teoria dell'uguale quantità di energia, il danno resta invariato se ad ogni aumento di 3 dB (raddoppio dell'energia), segue un dimezzamento del tempo di esposizione giornaliera al rumore.

Nel caso di un'esposizione prolungata al rumore, la sintomatologia può essere classificata come segue:

**I Fase o della fatica uditiva.** Nei primi 10-20 giorni di esposizione si avvertono acufeni a fine lavoro, sensazione di "orecchio pieno", lieve cefalea, senso di stordimento, ronzio auricolare intenso.

**II Fase o di latenza.** Dura da pochi mesi a diversi anni in funzione dell'intensità del rumore, del tempo di esposizione quotidiano e della

predisposizione individuale. In questa fase non sono presenti sintomi soggettivi.

**III Fase.** Dopo 2-3 anni dall'inizio della fase precedente si ha consapevolezza della perdita dell'udito (si sente male la voce sussurrata, si deve alzare il volume del televisore, non si sente il ticchettio dell'orologio).

**IV Fase.** Il deficit uditivo è manifesto, con grave compromissione degli scambi verbali.

Anche l'andamento audiometrico può essere diviso in quattro fasi a seconda del tipo e del grado di perdita:

1) Innalzamento temporaneo della soglia uditiva (ipoacusia temporanea o TTS Temporary Threshold Shift) a fine lavoro. Per esposizioni maggiori di 25 dB a 4000 Hz è reversibile con recupero a 8000 Hz. Lo spostamento temporaneo della soglia uditiva è proporzionale al livello di rumore e alla durata di esposizione. L'allontanamento del soggetto dall'esposizione consente un recupero della normale soglia di udito per TTS minore di 40 dB; se il TTS supera i 60 dB possono essere necessari per il recupero anche diversi giorni (si parla rispettivamente di fatica uditiva fisiologica e patologica).

2) Innalzamento permanente della soglia uditiva (NIPTS: Noise Induced Permanent Threshold Shift). Per esposizioni maggiori di 25 dB a 4000 Hz è irreversibile con recupero a 8000 Hz. Alcuni autori indicano come trauma acustico iniziale un deficit massimo a 4000 Hz fino a 50 dB e come trauma acustico avanzato il deficit a 4000 Hz oltre i 60 dB.

3) Deficit uditivo permanente anche a 2000 Hz e, se non già compromessa, a 6000 Hz, e spesso anche a 8000.

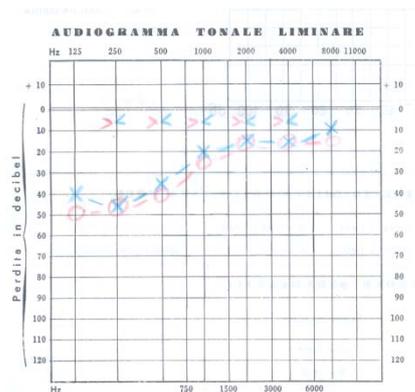
4) Incremento del danno uditivo con interessamento permanente anche di altre frequenze (1000 Hz e, se non già compromessa, 8000 Hz).

#### 2.4 Misura della capacità uditiva

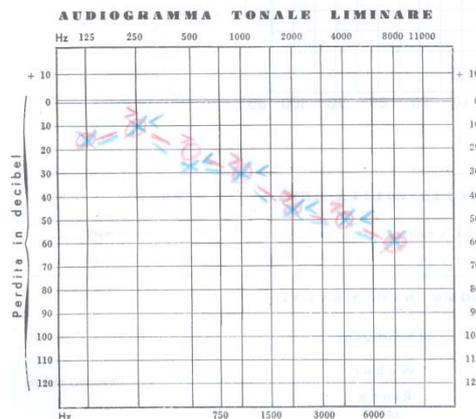
La capacità uditiva si valuta mediante l'audiometria tonale liminare e serve a misurare, in decibel, l'intensità dei suoni percepiti e quindi la perdita

uditiva. Per ipoacusia s'intende un deficit più o meno marcato della funzione uditiva e può essere di tre tipi:

- **TRASMISSIVA:** quando il tracciato per via ossea si mantiene su valori normali, mentre quello per via aerea indica l'esistenza di una perdita dell'udito. È caratterizzata da alterazioni a carico delle strutture (orecchio esterno, orecchio medio, liquidi endolabirintici) deputate a trasportare l'energia meccanica vibratoria dall'ambiente esterno alle cellule ciliate dell'Organo del Corti. L'esame audiometrico evidenzia un deficit della via aerea di varia entità, mentre la via ossea si presenta normale. La perdita uditiva resta uguale per tutte le frequenze a causa dell'ostacolo alla trasmissione dall'orecchio esterno alla membrana cocleare.



- **PERCETTIVA O NEUROSENSORIALE:** L'ipoacusia si definisce di tipo percettivo in quanto è caratterizzata da lesioni a carico della coclea e/o del nervo acustico, per cui vi è una compromissione sia della via aerea che della via ossea e quindi i due tracciati risultano sovrapposti. La perdita dell'udito si manifesta, inizialmente, per i toni acuti (solitamente massima a 4000 Hz) e poco per la voce parlata.



- **MISTA:** è causata da alterazioni sia dell'apparato di trasmissione dell'energia sonora sia di quello di trasduzione in stimolo elettrico (Organo del Corti) e trasferimento al SNC (VIII nervo cranico). Nell'ipoacusia mista la soglia per via aerea è peggiore di quella per via ossea, ma anche questa si mantiene su valori patologici.

In genere dopo i 40 anni si verifica una progressiva diminuzione dell'udito (presbiacusia) con una perdita di circa 0.5 dB all'anno. La caduta dell'udito è maggiore per gli 8000 Hz, inoltre, si configura un'alterazione di entrambe le vie, aerea ed ossea.

## 2.5 Effetti extrauditivi

L'esposizione al rumore oltre a favorire l'insorgenza di patologie a carico dell'organo dell'udito può determinare numerosi effetti su altri apparati e sistemi. Nonostante la difficoltà a quantificare gli effetti e data la scarsa certezza dei dati esistenti, diversi studi condotti su cavie dimostrano l'attivazione di aree encefaliche extrauditivi deputate al controllo di funzioni endocrine ed autonome (ipotalamo e sostanza grigia), alla regolazione delle emozioni e dei livelli di attenzione (amigdala, locus coeruleus) e all'elaborazione degli aspetti emozionali del dolore (talamo). Si può ipotizzare che gli effetti extrauditivi si manifestino attraverso una serie di circuiti nervosi che agiscono sui sistemi cardiovascolare, nervoso, gastroenterico, endocrino, sulla psiche, sul sistema nervoso centrale.

Il sistema uditivo può essere inteso come un sistema di “avvertimento” che segnalando ai centri superiori e utilizzando il sistema nervoso autonomo, predispone l’individuo alla risposta (a carico della frequenza cardiaca, dei vasi, dei muscoli, del surrene), con fenomeno di adattamento. La risposta può variare in base al tipo di stimolo che può essere breve, intenso, improvviso, atteso o cronico.

I principali effetti extrauditivi del rumore sono: alterazioni della frequenza cardiaca e circolatoria, modificazioni della pressione arteriosa, aumento della frequenza respiratoria, aumento delle resistenze vascolari e periferiche, aumento della secrezione e della mobilità gastrica, aumento della secrezione di ormoni surrenalici.

Non vanno sottovalutati gli effetti neuropsichici come, l'allungamento dei tempi di reazione, l'aumentato numero di errori durante lo svolgimento del lavoro e l'interferenza del rumore con la percezione di eventuali messaggi di pericolo, tutti fattori che possono aumentare il rischio di infortunio. Di seguito nella trattazione si focalizzerà anche l’attenzione sugli effetti extrauditivi del rumore che possono essere ricompresi nell’ambito delle problematiche relative all’esposizione al rumore negli ambienti scolastici.

## 2.6 Il danno da rumore: le sostanze ototossiche

La perdita dell’udito causata dal rumore resta una delle malattie professionali più diffuse in Europa. Attualmente, si presta sempre maggiore attenzione ai rischi dell'esposizione combinata a elevati livelli di rumore e a sostanze ototossiche. La normativa comunitaria (Direttiva 2003/10/CE) e nazionale prevedono (D Lgs 81/08) che il datore di lavoro, in occasione della valutazione dei rischi, prenda in considerazione “per quanto possibile a livello tecnico, tutti gli effetti sulla salute e la sicurezza dei lavoratori derivanti dall’esposizione fra rumore e sostanze ototossiche connesse con l’attività lavorativa svolta”.

Di norma un *agente ototossico* è definito come una sostanza che può dare alterazione funzionale o danno cellulare dell’orecchio interno, soprattutto a

livello della coclea, dei neuroni acustici, dell'ottavo nervo cranico, del sistema vestibolare.

L'uomo può essere esposto a sostanze ototossiche classificabili in: occupazionali e non occupazionali. In relazione alle prime, molti studi condotti su animali dimostrano che solventi (stirene, toluene, xilene, etilbenzene, tricloroetilene etc.), metalli (piombo, mercurio e manganese) e asfissianti (monossido di carbonio e acido) siano ototossici.

Quando si parla di sostanze ototossiche non professionali si fa solitamente riferimento a farmaci; in letteratura sono riportati oltre 130 farmaci correntemente utilizzati e caratterizzati da un potenziale otolesivo. I farmaci sono ototossici per via sistemica dando luogo sia alla distruzione diretta delle cellule ciliate esterne sia ad un'alterazione elettrolitica dell'endolinfa.

Tra le classi farmacologicamente maggiormente rappresentate, quella degli antibiotici è la più importante, con un posto di rilievo per gli amino glicosidi (streptomina, gentamicina, amikacina, neomicina, kanamicina), i diuretici dell'ansa e l'acido etacrinico, i silicati (per i quali è dimostrata un'azione sinergica con il toluene), alcuni antineoplastici quali il cisplatino e il carboplatino, gli antimalarici (chinino, cloro china, chinidina).

Tra le sostanze ototossiche a scopo voluttuario si ricordano: il fumo di sigaretta (secondo alcuni autori favorisce la vasocostrizione e il restringimento dei vasi con occlusioni trombotiche, causando una ipoacusia soprattutto per le basse frequenze), le droghe (cocaina), l'alcool (in letteratura vi sono non solo pochi dati, ma anche discordanti ed inoltre non è accertata una sinergia tra alcool e rumore).

## **CAPITOLO III**

### **Quadro normativo**

#### 3.1 Decreto Legislativo 81/08: Titolo VIII Capo II

La normativa vigente in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro trova applicazione anche negli edifici scolastici, che a tutti gli effetti, possono essere considerati dei luoghi di lavoro.

Il decreto riserva il Titolo VIII alla trattazione degli agenti fisici, in particolare al Capo II sono dettate le prescrizioni minime per la protezione dei lavoratori contro i rischi di danni all'udito. Si applica alle attività in cui i lavoratori sono o possono essere esposti a rischi derivanti dal rumore. Di seguito gli articoli relativi al Capo II .

L'art 188 elenca tre definizioni di parametri fisici utilizzati quali indicatori del rischio:

- 1) *Pressione acustica di picco*: valore massimo di pressione acustica istantanea ponderata in frequenza C;
- 2) *livello di esposizione giornaliera al rumore (LEX,8h)*: [dB(A) riferito a 20 µPa]: valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione al rumore per una giornata lavorativa nominale di otto ore, definito dalla Norma Internazionale ISO 1999:1990 punto 3.6. Si riferisce a tutti i rumori sul lavoro, incluso il rumore impulsivo;
- 3) *livello di esposizione settimanale al rumore (LEX,w)*: valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione giornaliera al rumore per una settimana nominale di cinque giornate lavorative di otto ore, definito dalla Norma Internazionale ISO 1999:1990 punto 3.6, nota 2.

L'articolo 189 definisce i valori limite di esposizione ed i valori di azione, in relazione al livello di esposizione giornaliera al rumore e alla pressione acustica di picco, ovvero:

- a) valori limite di esposizione:  $LEX = 87 \text{ dB(A)}$  e  $p_{peak} = 200 \text{ Pa}$  (140 dB(C) riferito a 20 µPa);

*b)* valori superiori di azione:  $LEX = 85 \text{ dB(A)}$  e  $p_{\text{peak}} = 140 \text{ Pa}$  ( $137 \text{ dB(C)}$ ) riferito a  $20 \mu\text{Pa}$ ;

*c)* valori inferiori di azione:  $LEX = 80 \text{ dB(A)}$  e  $p_{\text{peak}} = 112 \text{ Pa}$  ( $135 \text{ dB(C)}$ ) riferito a  $20 \mu\text{Pa}$ ).

Un'importante modifica è stata l'introduzione dei valori di pressione di picco, che contabilizzano i picchi di rumore raggiunti anche per tempi brevi o brevissimi.

L'art. 190 prende in esame la valutazione del rischio per cui nell'ambito di quanto previsto dall'art 181 (valutazione dei rischi), il datore di lavoro è tenuto a valutare l'esposizione dei lavoratori al rumore durante il lavoro prendendo in considerazione in particolare:

*a)* il livello, il tipo e la durata dell'esposizione, ivi inclusa ogni esposizione a rumore impulsivo;

*b)* i valori limite di esposizione e i valori di azione di cui all'art. 189;

*c)* tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rumore, con particolare riferimento alle donne in gravidanza e i minori;

*d)* per quanto possibile a livello tecnico, tutti gli effetti sulla salute e sicurezza dei lavoratori derivanti da interazioni fra rumore e sostanze ototossiche connesse con l'attività svolta e fra rumore e vibrazioni;

*e)* tutti gli effetti indiretti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori risultanti da interazioni fra rumore e segnali di avvertimento o altri suoni che vanno osservati al fine di ridurre il rischio di infortuni;

*f)* le informazioni sull'emissione di rumore fornite dai costruttori dell'attrezzatura di lavoro in conformità alle vigenti disposizioni in materia;

*g)* l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre l'emissione di rumore;

*h)* il prolungamento del periodo di esposizione al rumore oltre l'orario di lavoro normale, in locali di cui è responsabile;

*i)* le informazioni raccolte dalla sorveglianza sanitaria, comprese, per quanto possibile, quelle reperibili nella letteratura scientifica;

*l)* la disponibilità di dispositivi di protezione dell'udito con adeguate caratteristiche di attenuazione.

2. Se, a seguito della valutazione può fondatamente ritenersi che i valori inferiori di azione possono essere superati, il datore di lavoro misura i livelli di rumore cui i lavoratori sono esposti, i cui risultati sono riportati nel documento di valutazione.

3. I metodi e le strumentazioni utilizzati devono essere adeguati alle caratteristiche del rumore da misurare, alla durata dell'esposizione e ai fattori ambientali secondo le indicazioni delle norme tecniche. I metodi utilizzati possono includere la campionatura, purché sia rappresentativa dell'esposizione del lavoratore.

4. Nell'applicare quanto previsto nel presente articolo, il datore di lavoro tiene conto dell'incertezza delle misure determinate secondo la prassi metrologica.

Articolo 192 Misure di prevenzione e protezione:

1. Fermo restando quanto previsto dall'articolo 182, il datore di lavoro elimina i rischi alla fonte o li riduce al minimo mediante le seguenti misure:

*a)* adozione di altri metodi di lavoro che implicano una minore esposizione al rumore;

*b)* scelta di attrezzature di lavoro adeguate, tenuto conto del lavoro da svolgere, che emettano il minor rumore possibile, inclusa l'eventualità di rendere disponibili ai lavoratori attrezzature di lavoro conformi ai requisiti di cui al Titolo III, il cui obiettivo o effetto è di limitare l'esposizione al rumore;

*c)* progettazione della struttura dei luoghi e dei posti di lavoro;

*d)* adeguata informazione e formazione sull'uso corretto delle attrezzature di lavoro in modo da ridurre al minimo la loro esposizione al rumore;

*e)* adozione di misure tecniche per il contenimento:

- 1) del rumore trasmesso per via aerea, quali schermature, involucri o rivestimenti realizzati con materiali fonoassorbenti;
  - 2) del rumore strutturale, quali sistemi di smorzamento o di isolamento;
  - f) opportuni programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, del luogo di lavoro e dei sistemi sul posto di lavoro;
  - g) riduzione del rumore mediante una migliore organizzazione del lavoro attraverso la limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione e l'adozione di orari di lavoro appropriati, con sufficienti periodi di riposo.
2. Se a seguito della valutazione dei rischi di cui all'articolo 190 risulta che i valori *superiori* di azione sono superati, il datore di lavoro elabora ed applica un programma di misure tecniche e organizzative volte a ridurre l'esposizione al rumore, considerando in particolare le misure di cui al comma 1.
3. I luoghi di lavoro dove i lavoratori possono essere esposti ad un rumore al di sopra dei valori superiori di azione sono indicati da appositi segnali. Dette aree sono inoltre delimitate e l'accesso alle stesse è limitato, ove ciò sia tecnicamente possibile e giustificato dal rischio di esposizione.
4. Nel caso in cui, data la natura dell'attività, il lavoratore beneficia dell'utilizzo di locali di riposo messi a disposizione dal datore di lavoro, il rumore in questi locali è ridotto a un livello compatibile con il loro scopo e le loro condizioni di utilizzo.

#### Articolo 193 Uso dei dispositivi di protezione individuali

1. In ottemperanza a quanto disposto dall'articolo 18, comma 1, lettera d)33, il datore di lavoro, nei casi in cui i rischi derivanti dal rumore non possono essere evitati con le misure di prevenzione e protezione di cui all'articolo 192, fornisce i dispositivi di protezione individuali per l'udito conformi alle disposizioni contenute nel *Titolo III*, capo II, e alle seguenti condizioni:
- a) nel caso in cui l'esposizione al rumore superi i valori inferiori di azione il datore di lavoro mette a disposizione dei lavoratori dispositivi di protezione individuale dell'udito;

*b)* nel caso in cui l'esposizione al rumore sia pari o al di sopra dei valori superiori di azione esige che i lavoratori utilizzino i dispositivi di protezione individuale dell'udito;

*c)* sceglie dispositivi di protezione individuale dell'udito che consentono di eliminare il rischio per l'udito o di ridurlo al minimo, previa consultazione dei lavoratori o dei loro rappresentanti;

*d)* verifica l'efficacia dei dispositivi di protezione individuale dell'udito.

2. Il datore di lavoro tiene conto dell'attenuazione prodotta dai dispositivi di protezione individuale dell'udito indossati dal lavoratore solo ai fini di valutare l'efficienza dei DPI uditivi e il rispetto del valore limite di esposizione.

I mezzi individuali di protezione dell'udito sono considerati adeguati ai fini delle presenti norme se, correttamente usati, e comunque rispettano le prestazioni richieste dalle normative tecniche.

#### Articolo 194 Misure per la limitazione dell'esposizione

1. Fermo restando l'obbligo del non superamento dei valori limite di esposizione, se, nonostante l'adozione delle misure prese in applicazione del presente capo, si individuano esposizioni superiori a detti valori, il datore di lavoro:

*a)* adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione;

*b)* individua le cause dell'esposizione eccessiva;

*c)* modifica le misure di protezione e di prevenzione per evitare che la situazione si ripeta.

#### Articolo 195 Informazione e formazione dei lavoratori

1. Fermo restando quanto previsto dall'articolo 184 nell'ambito degli obblighi di cui agli articoli 36 e 37, il datore di lavoro garantisce che i lavoratori esposti a valori uguali o superiori ai valori inferiori di azione

vengano informati e formati in relazione ai rischi provenienti dall'esposizione al rumore.

#### Articolo 196 Sorveglianza sanitaria

1. Il datore di lavoro sottopone a sorveglianza sanitaria i lavoratori la cui esposizione al rumore eccede i valori superiori di azione. La sorveglianza viene effettuata periodicamente, di norma una volta l'anno o con periodicità diversa decisa dal medico competente, con adeguata motivazione riportata nel documento di valutazione dei rischi e resa nota ai rappresentanti per la sicurezza di lavoratori in funzione della valutazione del rischio. L'organo di vigilanza, con provvedimento motivato, può disporre contenuti e periodicità della sorveglianza diversi rispetto a quelli forniti dal medico competente.

2. La sorveglianza sanitaria di cui al comma 1 è estesa ai lavoratori esposti a livelli superiori ai valori inferiori di azione, su loro richiesta e qualora il medico competente ne confermi l'opportunità.

#### 3.2 Legge Quadro 447/95 e DPCM 14/11/97.

Il quadro normativo di riferimento in materia di acustica ambientale appare molto articolato. La Legge Quadro N. 447 del 27/10/1995 sull'inquinamento acustico, costituisce l'intelaiatura su cui si basa tutta la legislazione in materia di acustica ambientale e fissa i principi guida in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo, dall'inquinamento acustico. In un primo momento si è aggiunta, e poi gradualmente sostituita al D.P.C.M. del 01/03/91 che definiva i *“Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno”*. La complessità della materia ed i diversi campi di applicazione, non poteva prescindere dalla emanazione di una serie di Decreti che regolamentassero in dettaglio la materia acustica. In particolare si ricordano il D.P.C.M. 14/11/1997 riguardante la *“Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”* e il Decreto 16/03/1998 riguardante le *“Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico”*

La legge definisce e delinea le competenze sia degli enti pubblici che esplicano le azioni di regolamentazione, pianificazione e controllo, sia dei soggetti pubblici e/o privati, che possono essere causa diretta o indiretta di inquinamento acustico.

Nella legge è contenuta la definizione di inquinamento acustico, molto più ampia ed articolata rispetto a quella contenuta nel DPCM 1/03/91.

Con inquinamento acustico si intende: *“l’introduzione di rumore nell’ambiente abitativo nell’ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento dell’ecosistema, dei beni materiali, dei monumenti, dell’ambiente abitativo o dell’ambiente esterno tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi”*. Nella legge è definito anche l’ambiente abitativo, limitandolo agli ambienti interni ad un edificio destinati alla permanenza di persone. E’ una definizione di fatto sovrapponibile con la vecchia definizione del DPCM 01/03/91.

Per ambiente abitativo si intende *“ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive per i quali resta ferma la disciplina di cui al D. Lgs. n. 277/91, salvo quanto concerne l’immissione di rumore da sorgenti sonore esterne ai locali in cui si svolgono le attività produttive”*.

Le altre definizioni riportate dalla legge sono: valori limite di emissione, di immissione, valori di attenzione e di qualità (riprese in un secondo momento dal D.P.C.M. 14/11/97):

- Valori limite di emissione: *“valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente, misurato in prossimità della stessa”*;
- Valori limite di immissione: *“il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell’ambiente abitativo e nell’ambiente esterno, misurato in prossimità dei recettori”*;

- Valori di attenzione: *“il valore di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l’ambiente”*;
- Valori di qualità: *“i valori di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla presente legge”*.

La legge 447/95 tratta tematiche quali la zonizzazione acustica, l’impatto acustico, il clima acustico, i requisiti di emissione delle sorgenti sonore, i requisiti acustici passivi degli edifici.

Si compone di 17 articoli e oltre a stabilire i principi fondamentali in materia di tutela dell’ambiente esterno e dell’ambiente abitativo dall’inquinamento acustico, definisce anche una nuova figura professionale: il Tecnico Competente in Acustica che ha il compito di svolgere le attività tecniche connesse alla misurazione dell’inquinamento acustico, alla verifica del rispetto o del superamento dei limiti e alla predisposizione degli interventi di riduzione dell’inquinamento acustico. La legge fissa le competenze dello Stato, delle Regioni, delle Province e le funzioni e compiti dei Comuni.

- Allo *Stato* competono primariamente le funzioni di indirizzo, coordinamento e regolamentazione.
- Alle *Regioni* spetta il compito di promulgare una legge che definisca i criteri per la suddivisione in zone del territorio comunale ed inoltre la definizione di criteri da seguire per la redazione della documentazione di impatto acustico e delle modalità di controllo da parte dei Comuni e l’organizzazione della rete dei controlli. La parte più importante della legge regionale riguarda infatti l’applicazione dell’art. 8 della 447/95.
- Le competenze affidate alle *Province* riguardano le funzioni amministrative di interesse provinciale o sovra comunale per il controllo delle emissioni sonore. Le Regioni e lo Stato possono delegare loro ulteriori funzioni amministrative.

- Le funzioni e i compiti dei *Comuni* sono espresse in più articoli e, rispetto alla normativa precedente, le competenze sono molto più articolate. I Comuni sono tenuti a suddividere il proprio territorio in zone, in funzione della destinazione d'uso dei luoghi e del contesto sociale secondo i criteri fissati dalle Regioni. Affinché il piano di classificazione acustica sia veramente incisivo, dovrà essere coordinato con gli strumenti urbanistici già esistenti. Ai Comuni spetta poi l'adozione di piani di risanamento che individuino i tempi e le modalità per la bonifica nel caso si superino i valori di attenzione, il controllo del rispetto della normativa in materia di inquinamento acustico all'atto del rilascio delle concessioni edilizie relative a nuovi impianti ed infrastrutture adibiti ad attività produttive, sportive e ricreative e postazioni di servizi commerciali polifunzionali, dei provvedimenti comunali che ne abilitano l'utilizzo, nonché dei provvedimenti di licenza o di autorizzazione all'esercizio di attività produttive. Tutto ciò è specificato negli artt. 8 e 14 della legge. Infine i Comuni con popolazione superiore a 50 mila abitanti sono obbligati a redigere una relazione biennale sullo stato acustico. L'Art. 8 pone l'obbligo di produrre una valutazione previsionale del clima acustico delle aree interessate alla realizzazione delle seguenti tipologie di insediamenti: **scuole** e asili nido, ospedali, case di cura e riposo, parchi pubblici urbani e extraurbani, nuovi insediamenti residenziali prossimi alle opere di cui al comma 2. La documentazione di previsione di impatto acustico deve essere predisposta a cura di personale tecnico in possesso dei requisiti di tecnico competente in acustica.

Il DPCM 14/11/97, entrato in vigore il 1° gennaio 1998, come il DCPM 1/3/91, fissa i limiti di immissione assoluti per l'ambiente esterno per tutte le tipologie di sorgenti ed i valori limite di emissione da intendersi come i "*livelli di emissione relativi ad una specifica sorgente valutati al ricettore*".

Questi valori, con l'esclusione delle infrastrutture di trasporto, devono essere rispettati da tutte le sorgenti sonore. I valori limite sono fissati suddividendo acusticamente, il territorio in sei classi:

**CLASSE I – aree particolarmente protette:** rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, **aree scolastiche**, aree destinate al riposo ed allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.

**CLASSE II – aree destinate ad uso prevalentemente residenziale:** rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali e artigianali.

**CLASSE III – aree di tipo misto:** rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione, con presenza di attività commerciali, uffici con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici.

**CLASSE IV – aree di intensa attività umana:** rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali e uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali, le aree con limitata presenza di piccole industrie.

**CLASSE V – aree prevalentemente industriali:** rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.

**CLASSE VI – aree esclusivamente industriali:** rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi. Viene poi fissata una suddivisione dei livelli massimi in relazione al periodo di emissione del rumore, definito dal decreto come “tempo di riferimento”: *periodo diurno dalle ore 6.00 alle ore 22.00; periodo notturno dalle ore 22.00 alle ore 6.00.*

I limiti massimi di immissione prescritti nel D.P.C.M. 14/11/97, fissati per le varie aree, sono rappresentati nella tabella seguente:

**VALORI LIMITE ASSOLUTI DI IMMISSIONE - Leq in dB(A)**

*(Valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell’ ambiente abitativo o nell’ ambiente esterno)*

Classi di destinazione d’uso del territorio	Tempi di riferimento	
	Diurno (06.00-22.00)	Notturmo (22.00-06.00)
<b>I aree particolarmente protette</b>	<b>50</b>	40
II aree prevalentemente residenziali	55	45
III aree di tipo misto	60	50
IV aree di intensa attività umana	65	55
V aree prevalentemente industriali	70	60
VI aree esclusivamente industriali	70	70

Mentre, per quel che riguarda i limiti di emissione (misurati in prossimità della sorgente sonora) abbiamo i seguenti valori:

**VALORI LIMITE DI EMISSIONE - Leq in dB(A)**

*(Valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora misurato in prossimità della sorgente stessa)*

Classi di destinazione d'uso del territorio	Tempi di riferimento	
	Diurno (06.00-22.00)	Notturmo (22.00-06.00)
I aree particolarmente protette	45	35
II aree prevalentemente residenziali	50	40
III aree di tipo misto	55	45
IV aree di intensa attività umana	60	50
V aree prevalentemente industriali	65	55
VI aree esclusivamente industriali	65	65

Tale riferimento normativo, definisce come valore limite assoluto di immissione per le aule scolastiche, inserite nella Classe I “Aree particolarmente protette”, 50 dB(A) a fronte di rilevazioni che superano anche gli 80 dB(A).

### 3.3 Normativa nazionale in tema di acustica degli ambienti scolastici

Uno dei riferimenti normativi, in materia di acustica degli ambienti scolastici è la Circolare 3150 del 1967 sui “*Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici*” nella quale si adottano concetti generali, metodi di misura e criteri di valutazione sulla base delle norme di carattere generale, di cui alla circolare 30/04/1966 n 1769 parte I del Servizio Tecnico Centrale, salvo alcune prescrizioni riguardanti la particolare destinazione dell’edificio. La circolare si compone di tre parti: introduzione, misure di laboratorio e misure in opera. In quest’ultima parte sono riportati i requisiti di capitolato o di accettabilità per gli edifici scolastici da determinarsi con misure in opera:

- L’isolamento acustico fra due aule adiacenti sullo stesso piano deve essere di 40 dB(A);
- l’isolamento acustico fra due aule sovrapposte di 42 dB(A);
- il livello di rumore di calpestio fra due aule sovrapposte di 68 dB(A) (l'indice di valutazione è riferito al valore dell'ordinata a 500 Hz).

La rumorosità di servizi (determinata in aula al normale livello di esercizio) non deve superare i seguenti limiti:

- servizi a funzionamento discontinuo: 50 dB(A)

- servizi a funzionamento continuo: 40 dB(A)

La media dei tempi di riverberazione misurati alle frequenze 250-500-1000

- 2000 Hz, non deve superare 1,2 s ad aula arredata, con la presenza di due persone al massimo. Nelle palestre la media dei tempi di riverberazione (qualora non debbano essere utilizzate come auditorio) non deve essere superiore a 2,2 s ed eventuali aule per la musica e spettacolo devono adeguarsi, per quanto riguarda il trattamento acustico, alle norme generali per le sale di spettacolo.

Il Decreto Ministeriale del 18/12/1975 sulle *“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”* rappresenta il riferimento legislativo che, negli ultimi anni, ha indirizzato la progettazione e la costruzione degli edifici scolastici. I criteri di valutazione dei requisiti acustici dell'edilizia scolastica sono enunciati al punto 5.1 che introduce l'argomento facendo esplicito riferimento alla circolare 30 aprile 1966, n. 1769, parte 1a del Servizio Tecnico Centrale del Ministero dei lavori pubblici.

Il Decreto prende in esame i requisiti di: isolamento al rumore trasmesso per via aerea fra ambienti ad uso didattico adiacenti e sovrastanti, livelli di rumore di calpestio tra due spazi sovrapposti, prescrive i valori del tempo di riverberazione e stabilisce i limiti del livello di rumore trasmesso dagli impianti di riscaldamento, areazione e condizionamento centralizzato. I valori ottimali dei tempi di riverberazione vanno determinati in funzione del volume dell'ambiente e riferiti alle frequenze 250, 500, 1000, 2000 Hz. La rumorosità dei servizi, determinata dal massimo livello (A) misurato, non dovrà superare i seguenti limiti:

- Servizi a funzionamento discontinuo 50 dB (A)

- Servizi a funzionamento continuo 40 dB (A).

Il DM 13/09/1977 sulle *“Modificazioni alle norme tecniche relative alla costruzione degli edifici scolastici”* si compone di un solo articolo, nel quale si confermano le norme tecniche relative all’edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia e urbanistica da osservarsi nella esecuzione delle opere di edilizia scolastica di cui al decreto interministeriale in data 18/12/1975 e pubblicati nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana (supplemento ordinario) n.29 del 2 febbraio 1976.

Il D.P.C.M. 5/12/97 *“Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”*, decreto attuativo della Legge Quadro 447/95, fissa i requisiti di isolamento acustico delle diverse unità tecnologiche ed inoltre i limiti relativi alla rumorosità prodotta dagli impianti. Per i valori limite di tempo di riverberazione, il decreto rimanda alla vecchia Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 3150 del 22/05/1967 recante i criteri di valutazione e collaudo degli edifici scolastici.

Norma UNI 11367 *“Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera”*.

La norma si applica a tutti i tipi di edifici, tranne a quelli ad uso agricolo, artigianale e industriale. Nell’ambito di applicazione della norma, i requisiti acustici di ospedali, cliniche, case di cura e scuole sono definiti da una specifica appendice. Sono previste quattro differenti classi di efficienza acustica: si va dalla classe 1, che identifica il livello più alto (più silenzioso), alla classe 4 che è la più bassa (più rumoroso), che però la maggioranza degli edifici italiani oggi esistenti non raggiunge neppure.

### 3.4 Legislazione internazionale

Nell’ambito degli studi relativi l’acustica degli ambienti scolastici, si è giunti alla redazione e/o revisione di una serie di standard: si tratta nello specifico di una serie di documenti come leggi, linee guida, norme tecniche, direttive, raccomandazioni.

Nella pubblicazione dell'OMS, "Noise in schools", sono rese note le conseguenze del rumore nelle aule scolastiche, sia per i bambini che per gli insegnanti, ma sono anche indicati i requisiti acustici minimi per la salute ed infine alcuni consigli pratici per eventuali interventi di bonifica acustica. Per ciò che riguarda i requisiti minimi fa riferimento ad una precedente pubblicazione del 1999, "Guidelines for Community Noise". Il livello massimo di rumore di fondo ammissibile nelle aule scolastiche durante l'attività didattica, viene fissato dall'OMS a 35 dB(A; va precisato che tale livello deve essere ridotto in presenza di bambini con problemi all'udito. Nelle aree di ricreazione oppure all'esterno durante lo svolgimento delle attività ludiche, il livello sonoro non deve superare i 55 dB(A). All'interno delle classi si fissa un tempo di riverberazione pari a 0,6 s che deve essere ridotto in presenza di bambini con problemi all'udito.

Nella seguente tabella sono riassunte le indicazioni riportate nella pubblicazione dell'OMS "Noise in schools":

	<i>Livello di rumore, Leq dB(A)</i>	<i>Tempo di riverberazione, s</i>
Aule scolastiche	35	0.6
Aree esterne di ricreaz.	55	-

L'opuscolo dell'OMS fornisce anche delle raccomandazioni su un eventuale progetto acustico di un edificio scolastico, sul ruolo educativo della scuola in merito al rumore e nella gestione delle attività didattiche in funzione della loro rumorosità. Le raccomandazioni relative al progetto possono essere sintetizzate come segue:

- 1)l'edificio scolastico dovrebbe sorgere il più lontano possibile da sorgenti di rumore legate ai trasporti ed alla presenza di industrie;
- 2)gli spazi interni dovrebbero avere una distribuzione tale da isolare le zone più rumorose da quelle meno;

3) dovrebbe essere assicurato un adeguato isolamento acustico ed una riverberazione ottimale per ogni singolo ambiente scolastico, tenendo presente anche la propria destinazione d'uso;

4) gli impianti dovrebbero essere realizzati in modo tale da ridurre al minimo l'emissione sonora.

Nei diversi documenti i requisiti possono essere suddivisi in: requisiti riferiti all'ambiente nel suo complesso e in requisiti relativi alle diverse unità tecnologiche. Per il sistema ambientale i parametri di riferimento sono il livello di pressione sonora del rumore di fondo e il tempo di riverberazione.

Negli Stati Uniti il riferimento normativo in materia di acustica degli ambienti scolastici è rappresentato dall'ANSI S12.60 che affronta le questioni in materia di tempi di riverberazione, rumore di fondo inteso come rumore proveniente dall'esterno dell'edificio e dagli impianti a funzionamento continuo per spazi destinati ad attività didattica arredati e non occupati. La norma stabilisce i valori limite in funzione della dimensione dell'ambiente scolastico e del tipo di attività in esso svolta.

In Svezia la norma tecnica SS 02 52 68, in revisione, stabilisce i requisiti acustici minimi per ambienti a varia destinazione d'uso, tra i quali gli ambienti scolastici, escluse le abitazioni. Fissa valori massimi di pressione sonora per il rumore degli impianti, del rumore del traffico; tra le sorgenti di rumore si escludono il rumore dovuto all'attività didattica e il rumore proveniente dall'interno dell'edificio. In accordo con queste disposizioni l'isolamento della facciata deve essere determinato in funzione della rumorosità esterna, in modo da rientrare nei limiti stabiliti di rumore di fondo.

Le norme internazionali si differenziano in relazione all'indice adottato per la valutazione dell'isolamento acustico, ma la gran parte sono concordi nello stabilire le prestazioni fonoisolanti delle partizioni interne in funzione del grado di protezione dal rumore che necessita l'ambiente disturbato e dal grado di rumore presente nell'ambiente disturbante. Le norme stabiliscono requisiti più restrittivi nei casi in cui gli ambienti disturbati siano spazi

destinati ad attività didattiche di base, con bassa tolleranza del rumore di fondo, confinanti con ambienti molto disturbati, mentre requisiti meno restrittivi sono previsti nel caso in cui gli stessi ambienti confinino con ambienti poco rumorosi.

La ricerca internazionale dimostra che il rumore e la riverberazione agiscono negativamente sulle performance dei bambini a scuola. Ad oggi nella maggior parte dei casi si nota che le condizioni acustiche delle aule scolastiche sono insoddisfacenti tanto da rilevare una discrepanza tra i dati raccolti e le condizioni ottimali di ascolto.

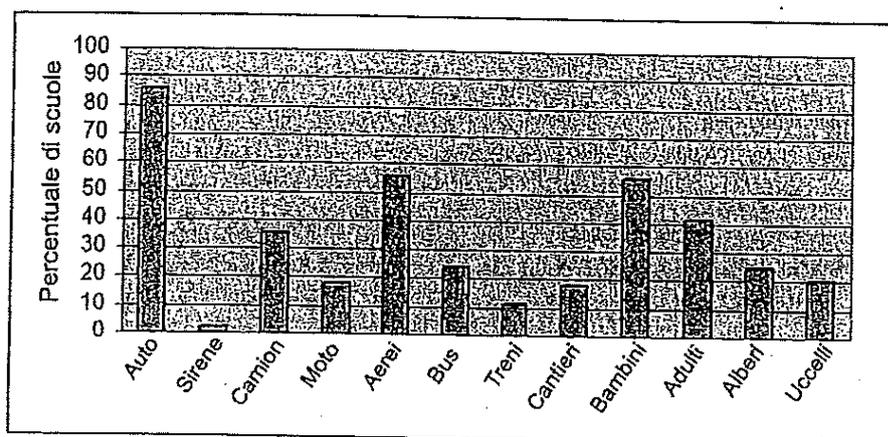
## CAPITOLO IV

### Indagini sul rumore esterno e interno agli edifici scolastici

#### 4.1 Rumore esterno e interno

Il rumore a cui alunni e insegnanti sono esposti all'interno di una scuola è una combinazione di rumore esterno, che si propaga attraverso i muri perimetrali dell'edificio e di rumore generato internamente. Quando si parla di rumore esterno si fa solitamente riferimento a quello generato dal traffico urbano, aereo e ferroviario o dalla presenza di siti industriali.

Shield e Dockrell a seguito di uno studio compiuto su 142 scuole londinesi hanno constatato che più dell'86% delle scuole esaminate sono esposte al rumore del traffico, come si può osservare dal seguente grafico, che riporta le principali fonti di rumore all'esterno delle 142 scuole primarie esaminate.



Principali sorgenti di rumore all'esterno di 142 scuole primarie di Londra

L'OMS consiglia livelli di rumorosità nei cortili delle scuole non superiori a 55dB LAeq. I livelli di rumore rilevati dai due autori sopracitati, all'esterno delle 142 scuole, superano i valori limite definiti dall'Oms nel 65% dei casi. In un'altra analisi condotta su 36 scuole collocate nei pressi dell'aeroporto di Heathrow, si rileva un'esposizione al rumore più alta rispetto al centro di Londra, con livelli medi di 65dB LAeq e 54 dB LAeq. In questo secondo caso i valori limite dell'OMS risultano superati nel 91%

dei casi. In questa area si stanno compiendo degli studi al fine di conoscere gli eventuali effetti del rumore sugli scolari.

Per rumore interno solitamente si intende quello generato dai impianti di condizionamento, ventilazione, sia quello derivante da quegli ambienti in cui sono presenti bambini e quindi dove si svolgono attività didattiche, sia quello proveniente dai corridoi. Shield e Dockrell hanno avuto modo di appurare nei loro studi, che nelle aule la fonte principale di rumore fossero gli stessi alunni e che i livelli sonori rilevati fossero condizionati dal tipo di attività svolta al momento delle misurazioni. La seguente tabella riporta i livelli medi di rumore (LAeq) relativi alle molteplici attività svolte nelle aule.

<i>Attività in classe</i>	<i>Leq dB(A)</i>
1) bambini che leggono in silenzio o che eseguono test	56.3
2) bambini seduti, con una persona che parla (insegnante o alunno)	61.2
3) bambini seduti che lavorano individualmente	64.7
4) bambini che lavorano individualmente, alcuni spostamenti e brusio	72.2
5) bambini seduti che lavorano in gruppo	72.9
6) bambini che lavorano in gruppo, alcuni spostamenti e brusio	76.8

Dai dati si evince una discrepanza di circa 20 dB (LAeq) tra le attività più silenziose e quelle più rumorose. In altre indagini compiute da Hodgson, su aule universitarie, e da MacKenzie, su aule di scuole primarie, sono stati misurati livelli di rumore pari a 56 dB(A) in aule non sottoposte a interventi di bonifica acustica e nelle quali gli alunni stavano in silenzio. Sebbene ci sia un'ampia casistica relativa ai livelli di rumore nelle aule durante l'attività di insegnamento e di apprendimento, sembra che 65dB LAeq siano un valore rappresentativo dell'attività tipo svolta nelle aule scolastiche.

I due studiosi Shield e Dockrell, a seguito di una analisi sull'influenza del rumore esterno sui livelli di rumore interno all'aula, hanno rilevato che soltanto nel momento in cui i bambini erano intenti a svolgere attività silenziose, allora il rumore esterno incideva sui livelli di rumore interno.

#### 4.2 Il Rumore come fattore di disturbo sui risultati scolastici

Analizzando le ricerche effettuate sulle ripercussioni del rumore sui risultati scolastici, si può notare come la maggior parte di esse abbiano focalizzato l'attenzione sugli effetti del rumore esterno. Fortunatamente, negli ultimi anni un numero maggiore di studi ha indagato sugli effetti del rumore interno.

Dockrelle e Shield hanno dimostrato come i bambini possano essere consapevoli del rumore, che oltretutto incide sul loro rendimento, senza però essere sentito come fattore di disturbo. Recentemente alcuni studiosi hanno orientato i loro studi sul problema della percezione del rumore da parte degli alunni.

Due degli studi più importanti, risalenti agli anni 80 e 90 e relativi a scuole situate in prossimità di aeroporti (Los Angeles e Monaco) hanno evidenziato prestazioni scolastiche ridotte in quei bambini esposti al rumore del traffico aereo. L'esposizione ad alti livelli di rumore (95dB L<sub>peak</sub>) è stata associata ad una scarsa memoria a lungo tempo, scarsa comprensione della lettura, e una diminuzione della motivazione degli scolari. Sembrerebbe che gli effetti dovuti ad un'esposizione cronica al rumore degli aerei, sia a lungo termine. Cohen et Al hanno rilevato che, pur riducendo il rumore all'interno di una scuola di 16dB (A), aveva poco effetto sul rendimento dei bambini. Hygge recentemente ha scoperto che anche eliminando la fonte del rumore (es. la chiusura di un aeroporto) occorrono diversi anni prima che gli effetti dannosi scaturiti dall'esposizione al rumore cessino.

Alcune ricerche evidenziano nello specifico che anche il rumore causato dal traffico stradale e ferroviario finisce per influenzare la capacità di lettura dei bambini. Nel 1975 Bronzaft e McCarthy hanno avuto modo di appurare che

i bambini situati sul lato più silenzioso di una scuola posta accanto a una ferrovia sopraelevata, avevano risultati migliori nella lettura rispetto ai bambini situati sul lato esposto al rumore del treno, con livelli superiori a 89dB(A).

Considerando che in passato sono state effettuate poche ricerche sugli effetti del rumore in classe, ad oggi sembra che ci si inizi a muovere in questo senso, infatti, alcuni studiosi hanno esaminato il problema rispetto al rendimento scolastico, alle capacità di lettura e di calcolo.

Hetu et al hanno messo in evidenza un calo significativo nel rendimento dei bambini, soprattutto nella lettura, quando il livello del rumore di fondo interferiva con il parlato.

## CAPITOLO V

### **Il comfort acustico e l'intelligibilità del parlato**

5.1 Fattori che pregiudicano la comprensione del messaggio verbale e la qualità acustica delle aule scolastiche

**1) *La distanza dall'insegnante e la posizione parlatore-ascoltatore.*** Il crescere della distanza tra gli allievi e la cattedra può essere causa di una marcata perdita di intelligibilità. Questo è stato appurato da un'indagine svolta negli Stati Uniti su allievi di età inferiore ai 15 anni in una normale aula scolastica: se a 2 metri di distanza corrispondeva un'intelligibilità intorno al 95%, ad una distanza di 8 metri l'intelligibilità scendeva al 50%. Questi dati fanno riflettere sulla effettiva difficoltà di comprensione del parlato che alcuni alunni posti ad eccessiva distanza dall'insegnante potrebbero avere.

In termini di orientamento è ben noto che la posizione frontale (faccia a faccia) tra parlatore e ascoltatore sia la configurazione geometrica corrispondente alla migliore intelligibilità del messaggio verbale, anche per l'ausilio derivante dalla visione dell'ascoltatore (movimento delle labbra, espressioni del volto) e dalla sua gestualità. È a questa configurazione che naturalmente tendono gli interlocutori soprattutto in presenza di rumore interferente con la comunicazione verbale. Orientamenti diversi da detta configurazione, fino alla situazione peggiore di ascoltatore con le spalle rivolte al parlatore, comportano una diminuzione dell'intelligibilità.

**2) *Tempo di riverberazione.*** In un ambiente chiuso, il suono prodotto in un punto può raggiungere l'ascoltatore per via diretta, ma anche dopo riflessioni delle onde sonore sulle varie superfici rigide che delimitano l'ambiente. Il tempo di riverberazione è il parametro più importante per determinare la qualità acustica di un ambiente chiuso e sta a rappresentare il tempo necessario perché un suono all'interno di una stanza diminuisca di 60 dB quindi, in termini comprensibili, indica il tempo necessario perché un suono molto forte divenga impercettibile.

Il valore ottimale del tempo di riverberazione in un ambiente destinato all'ascolto della parola, rappresenta il giusto compromesso tra il raggiungimento di un livello sonoro sufficiente per un'esposizione senza sforzo, e l'assenza di mascheramenti tra le sillabe del messaggio parlato. Numerosi studi hanno evidenziato che il tempo di riverberazione ottimale in aule scolastiche di volumetria compresa tra 100 e 400 m<sup>3</sup>, in condizioni di aula occupata, è pari a 0,4-0,5 s nella regione delle medie frequenze. Ridurre il tempo di riverberazione a valori più piccoli non sembra essere necessario, infatti l'intelligibilità della parola non è molto sensibile a piccole deviazioni rispetto al valore ottimale stabilito. Una riduzione eccessiva della riverberazione implica una riduzione del livello sonoro dell'insegnante verso il fondo dell'aula.

**3) Rumore di fondo.** Rappresenta un fattore di inquinamento acustico grave e diffuso nelle aule scolastiche ed ha origine dal contesto sonoro nel quale l'aula è inserita; a tal proposito è uno dei principali parametri da controllare per garantire una buona comprensione della parola e un buon comfort acustico all'interno degli ambienti scolastici. La presenza ed il livello di rumore di fondo può essere determinato da alcune fonti:

- 1) sorgenti di rumore esterne: traffico stradale, aeronautico, ferroviario, impianti industriali e commerciali, cantieri stradali;
- 2) sorgenti di rumore interne all'edificio scolastico: attività svolte nelle aule adiacenti, nei corridoi, nelle palestre, impianti interni in funzionamento;
- 3) fonti di rumore interne all'aula: brusio degli allievi, cigolio dei banchi e delle sedie.

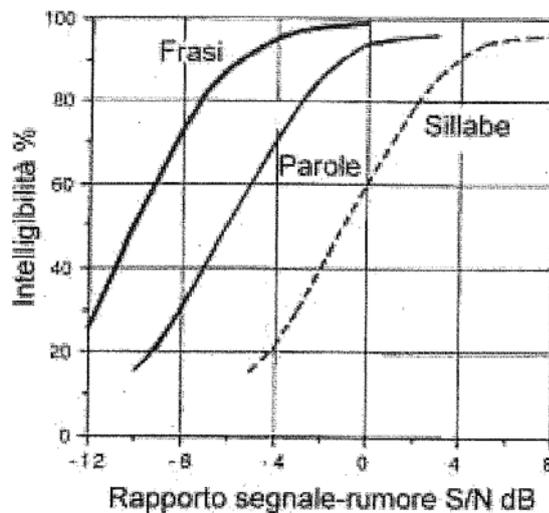
## 5.2 Il rumore e l'intelligibilità del parlato

L'insoddisfacente acustica delle aule scolastiche e la cattiva intelligibilità sono nella maggior parte dei casi riconducibili ad una inadeguata progettazione e realizzazione degli ambienti. L'edilizia scolastica cerca di rispondere ad esigenze ergonomiche trascurando "l'aspetto fisico" fondamentale per la comunicazione: l'acustica.

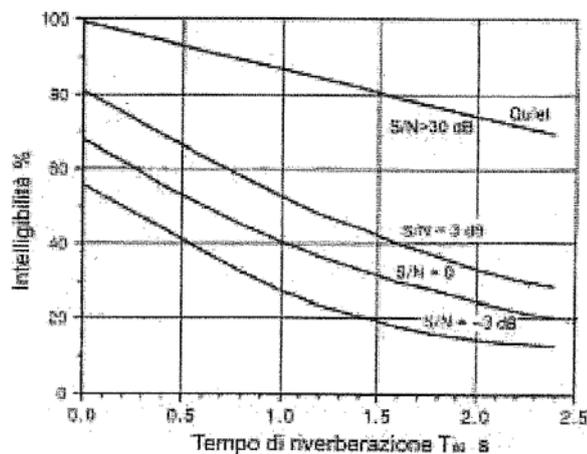
In particolar modo, il rumore e ancor di più la riverberazione, compromettono la comunicazione verbale tra bambini e insegnanti. In accordo con la norma ISO 9921:2003[4], il grado di difficoltà nella comunicazione verbale può essere espresso in termini di intelligibilità del parlato. Con questo termine si intende la percentuale di parole o frasi correttamente comprese da un ascoltatore normoudente, rispetto alla totalità di parole o frasi conseguenti il messaggio parlato, sia esso ascoltato direttamente dal parlatore, ovvero, indirettamente mediante un sistema elettroacustico (telefono, altoparlante). Garantire la corretta comprensione del parlato è una prerogativa, non solo nei luoghi di lavoro, per le sue implicazioni sulla sicurezza (avvisi di rischio/pericolo) e l'efficienza lavorativa, ma anche negli ambienti comunitari (mense, scuole, sale di attesa ecc.). Il fenomeno è molto complesso e può dipendere da una serie di fattori di diversa natura: acustici, psicofisiologici, linguistici ecc.

Il rumore e la riverberazione, se non controllati, riducono l'intelligibilità della parola, fondamentale per molti processi di apprendimento. Studi sulla comprensione della parola in differenti condizioni di rumore e riverberazione, hanno dimostrato che i bambini più piccoli sono molto più sensibili degli adulti alle cattive condizioni acustiche.

Il livello e lo spettro acustico del rumore presente nell'ambiente dove avviene la trasmissione del messaggio verbale, contribuiscono a deteriorare la comprensione di quest'ultimo. Per denotare questa influenza si fa ricorso al rapporto segnale/rumore (S/N), definito come la differenza in dB tra il livello della voce umana e quello del rumore di fondo presenti nella posizione in esame. All'aumentare di quest'ultimo, quindi, per valori di S/N progressivamente decrescenti, si osserva che ascoltatore e parlatore tendono ad ottimizzare la loro posizione reciproca (riduzione della distanza e in posizione frontale) e/o il parlatore tende ad aumentare progressivamente il livello della propria voce. Il grafico rappresenta l'andamento dell'intelligibilità in funzione del rapporto segnale/rumore:



Come precedentemente accennato, è noto che, un ambiente eccessivamente riverberante finisce per influenzare negativamente l'intelligibilità del parlato. Il grafico successivo illustra la percentuale di intelligibilità in funzione del tempo di riverberazione T60 per diversi rapporti S/N:



Sono stati effettuati diversi studi per la determinazione del rapporto segnale rumore ottimale in un'aula scolastica. Per assicurare un ambiente adatto a tutti i bambini, compresi quelli con difficoltà uditive, è necessario ottenere un elevato rapporto segnale/rumore. Bistafa e Bradley hanno suggerito che, assumendo un T60 da 0,4 a 0,5 s, il livello del rapporto segnale rumore dovrebbe essere maggiore di 15 dB in tutta l'aula, considerando come

valore ideale 25 dB e 20 dB come valore accettabile ad un metro da colui che sta parlando.

Per garantire una buona intelligibilità del parlato all'interno di un'aula, in modo da permettere a tutti i bambini di capire quello che l'insegnante dice, è necessario dunque controllare sia il rumore esterno sia quello interno, e progettare o ristrutturare le aule così che esse abbiano bassi tempi di riverberazione.

### 5.3 Descrittori dell'intelligibilità del parlato

Per valutare l'intelligibilità del parlato in un ambiente sarebbe sottoporre test soggettivi di intelligibilità a parlatori ed ascoltatori usando frasi o parole preselezionate secondo protocolli sperimentali, come quelli descritti nella norma UNI EN ISO 9921:2004. Di norma si ricorre a descrittori oggettivi, misurabili o calcolabili, quali lo Speech Transmission Index (STI), l'indice di articolazione (AI), lo Speech Intelligibility Index (SII) e lo Speech Interference Level (SIL) codificati anche in specifici documenti normativi ed in letteratura.

L'indice di trasmissione del parlato (STI) quantifica l'effetto combinato dell'interferenza del rumore di fondo e della riverberazione sull'intelligibilità del parlato e si basa sull'assunto che la voce umana, la cui intensità varia nel tempo, può essere un segnale modulato in ampiezza (0.5÷16 Hz). La voce resta comprensibile se percepita in condizioni da mantenere invariate le sue caratteristiche di modulazione. La misura dell'indice STI, avente valori compresi tra 0 e 1, consiste pertanto nel determinare la riduzione dell'indice di modulazione di un segnale di prova lungo il percorso emissione ricezione. A tale scopo si impiega una sorgente collocata nella posizione del parlatore e sono disponibili sistemi automatici di misurazione sia dello STI, sia della sua versione semplificata denominata RAPID Speech Transmission Index RASTI.

L'indice di articolazione (AI) è uno dei primi descrittori dell'intelligibilità del parlato ed è basato sul presupposto che la risposta di un sistema di

comunicazione verbale può essere suddivisa in 20 bande, ciascuna recante uno specifico contributo di intelligibilità, e che il totale di quest'ultima è pari alla somma dei contributi parziali delle singole bande. I valori di AI sono compresi tra 0 (intelligibilità nulla) e 1 (intelligibilità perfetta). In linea generale, ad ogni raddoppio della distanza ascoltatore-parlatore si ha una riduzione di 0.5 per AI; stessa riduzione si registra per una rotazione di 90° dell'ascoltatore rispetto al parlatore. Infine si può affermare che una diminuzione di 5dB(A) per il rumore di fondo comporta un aumento di 0.17 per AI.

Recentemente è stato introdotto l'indice di intelligibilità del parlato SII derivato e sostanzialmente identico all'indice STI.

Il livello di interferenza sul parlato (SIL) è un metodo applicabile in ambienti poco riverberanti ( $T_{60} < 2s$  a 500 Hz) e in assenza di sistemi di amplificazione trasmissione della voce. Il livello di interferenza sul parlato  $L_{sil}$  è definito come la media aritmetica del livello di pressione sonora del rumore di fondo (ossia in assenza del messaggio verbale) nella posizione dell'ascoltatore in corrispondenza delle quattro bande di frequenza di ottave con frequenza centrale a 500-1000-2000-4000 Hz e deve assumere valori superiori a 10 dB affinché sia garantita una intelligibilità accettabile.

## CAPITOLO VI

### **Inquinamento acustico, sforzo vocale e malattie professionali**

6.1 Il disturbo vocale degli insegnanti e la prevenzione primaria delle disfonie

Finora la medicina del lavoro ha considerato l'inquinamento acustico nell'ambiente di lavoro in relazione al rischio di danno uditivo, tralasciando l'importanza dell'impatto del rumore e delle cattive condizioni acustiche ambientali sullo sforzo vocale di coloro che parlano. Per gli insegnanti la propria voce rappresenta lo strumento principale di lavoro e di conseguenza sono soggetti a sviluppare patologie vocali in misura maggiore rispetto alla popolazione generale. I disturbi della voce possono manifestarsi sotto forma di lievi disfonie, fino alla perdita completa della voce (afonia) e possono avere origini diverse. Le cause di disfonia, in coloro che sfruttano la voce, sono legate ad un cattivo uso o abuso della stessa .

La normativa italiana, in linea con quella europea ed americana, ha definito un livello massimo di rumore nelle aule scolastiche pari a 35-45 dBA e di riverbero pari a 0.4-0.6 secondi. Normalmente questi valori vengono superati, infatti nelle classi occupate, il rumore oscilla intorno ai 55-60 dBA e nello specifico varia dai 65-80 dBA nelle scuole dell'infanzia ai 55-65 e 50-55dBA nelle scuole primarie e secondarie.

Come reazione spontanea al mascheramento da rumore ambientale e/o da riverbero, gli insegnanti tendono a mantenere un'intensità della voce di circa 15 dB superiore al rumore. Conseguentemente a quanto detto, parlare anche per brevi periodi, quando il rumore ambientale supera i 65 dB richiede uno sforzo potenzialmente pericoloso per le corde vocali. Da alcuni studi emerge che il 16% degli insegnanti soffre di disfonia rispetto al 6% medio delle altre categorie professionali.

In assenza di un training vocale, tale da consentire l'amplificazione e la proiezione vocali in un contesto, non solo di efficacia ma anche di efficienza

vocale (massimo rendimento con il minimo sforzo), un tale aumento dell'intensità della voce si accompagna ad un incremento della frequenza fondamentale ( $F_0$ ) e, più in generale si traduce in un comportamento vocale ipercinetico (sforzo vocale cronico). Con il passare del tempo l'ipercinesia fonatoria diventa responsabile di alterazioni della voce, disfunzionali prima e secondariamente associate a danno organico delle corde vocali (noduli, polipi, edema cronici, cisti vocali da ritenzione...).

Al fine di limitare i disturbi vocali degli insegnanti è importante mettere in atto dei programmi di prevenzione primaria atti a focalizzare l'attenzione su alcuni punti critici. In primo luogo sarebbe opportuno migliorare l'acustica delle aule scolastiche attraverso la riduzione del riverbero fino all'utilizzo di amplificatori portatili o fissi tali da offrire un contributo in termini di riduzione dello sforzo. A seguire lo svolgimento di corsi sull'uso professionale della voce, al fine di acquisire una corretta tecnica vocale per una gestione non traumatica dell'apparato fonatorio, in relazione soprattutto alle alte intensità della voce. La prevenzione primaria può realizzarsi anche attraverso un'educazione vocale indirizzata ai bambini, non solo per evitare l'insorgenza di eventuali disturbi negli stessi, come disfonie croniche infantili, ma anche per un miglioramento delle condizioni ambientali di lavoro dell'insegnante ovvero per una riduzione del rumore ambientale.

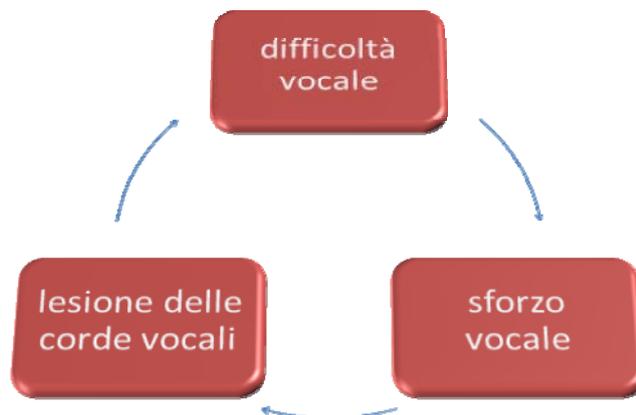
Relativamente alle tecniche vocali, è opinione di vari autori che programmi di insegnamento dell'igiene vocale e di una corretta tecnica vocale possano prevenire l'insorgenza di disфонia ed indurre l'insegnante a chiedere assistenza medica precoce. Molti ritengono che tale acquisizione debba riguardare gli studenti che diventeranno in futuro insegnanti.

## 6.2 Eziopatogenesi dello sforzo vocale e il suo "circolo vizioso"

Diversi studi hanno dimostrato un'alta prevalenza dei disordini della voce negli insegnanti. Smith nel 1998 ha avuto modo di appurare che il problema dello sforzo vocale ha maggiore incidenza nel sesso femminile, infatti il rapporto tra insegnanti donne e insegnanti uomini è di 2,7 a 1. Questo dato è

giustificato anche dal fatto che la frequenza fondamentale della voce femminile è il doppio di quella maschile. Ciò significa che a parità di durata fonatoria, le corde vocali, nella donna realizzano il doppio delle collisioni rispetto a quelle dell'uomo. In una giornata lavorativa di 5 ore di insegnamento della durata di 45 min. ciascuna, per un totale di un'ora e mezza di impegno vocale, una insegnante di scuola elementare realizza ca. 1.000.000 di vibrazioni cordali, (calcolando una  $f_0$  di 250 Hz). Non bisogna trascurare poi che, il contenuto di acido ialuronico nella lamina propria delle corde vocali, è minore nella donna e questo si traduce in una minore resistenza al fonotrauma. Questi due dati, considerati insieme, sembrano indicare che a parità di lavoro-sforzo vocale, nella donna si realizza il seguente binomio: maggiore quantità di fono trauma, minore resistenza ad esso. Sembra inoltre che lo stress, le tensioni psicologiche, la personalità possano contribuire al disordine vocale dell'insegnante.

Il fonotrauma è la conseguenza dell'impatto delle corde vocali durante la fonazione: la forza dell'impatto è direttamente proporzionale all'ampiezza ed alla frequenza di vibrazione delle corde vocali. Il danno cordale si verifica nell'individuo predisposto quando viene superata la dose critica delle vibrazioni, soprattutto quando i cicli vibratorii sono caratterizzati da brusche velocità di decelerazioni del tessuto. La resistenza del sistema fonatorio varia notevolmente da soggetto a soggetto quindi si comprende facilmente come non esista una normativa che stabilisca il numero di vibrazioni che le corde vocali possono effettuare senza rischio di sforzo vocale e quindi di disfonia. L'eccesso di vibrazioni causa cicli di danno e di riparazione del tessuto cordale, che si ripetono fino a che la lesione, e la conseguente disfonia, diventano irreversibili. Si instaura un circolo vizioso che si mantiene ed autoalimenta nel tempo.



Il “circolo vizioso” dello sforzo vocale

### 6.3 Inail e malattie professionali del personale docente

La scuola, luogo per eccellenza deputato alla formazione e allo studio, è apparsa sempre lontana dall'essere considerata anche luogo a rischio di infortuni e di malattie professionali. Nel corso degli anni il concetto di rischio assicurato ha subito una evoluzione tanto da arrivare ad una parità di tutela tra la figura di prestatore d'opera manuale e quella intellettuale, in funzione di quel principio per cui, a parità di rischio, deve corrispondere parità di tutela. L'INAIL assicura gli insegnanti della scuola, come gli altri lavoratori secondo le modalità previste dagli articoli 1 (attività protette) e 4 (persone assicurate) del testo unico DPR 1124 del 30 giugno del 1965.

I dati relativi al numero di infortuni occorsi ad insegnanti e studenti nelle scuole pubbliche e private, denunciati all'Inail nell'anno 2007, dimostrano come il fenomeno non sia marginale. Relativamente al caso delle malattie professionali del personale docente delle scuole, esso appare contenuto a pochi eventi l'anno. Nell'anno 2007 sono stati denunciati 19 casi, di cui 16 patologie laringee e 3 ipoacusie da rumore. Nello stesso anno sono state riconosciute 15 malattie professionali a carico della laringe. Tutte le persone che svolgono un'attività che presuppone uno sforzo dell'apparato vocale,

possono riscontrare patologie a carico delle corde vocali. Nell'elenco delle malattie per le quali è prevista obbligatoriamente la segnalazione/denuncia, ex art. 139 del DPR 1124/1965, il cui penultimo aggiornamento è stato pubblicato con DM del 14 gennaio del 2008, i noduli alle corde vocali, causati da sforzi prolungati delle stesse, sono inseriti nella lista II che comprende malattie la cui origine è di limitata probabilità.

In Europa e negli Stati Uniti i disturbi della voce non sono riconosciuti come patologie professionali nonostante negli USA il 12% dei soggetti con patologie vocali sia rappresentato dagli insegnanti. Dai dati di letteratura emerge che la prevalenza di patologie a carico della voce tra gli insegnanti oscilla tra il 7% ed il 25%. La Polonia è l'unica nazione in cui questi disturbi sono riconosciuti come malattia professionale. Dagli studi di Hanke et Al. emerge che i disturbi della voce rappresentano il 25% delle patologie professionali.

Per quanto riguarda l'ipoacusia da rumore ci troviamo di fronte ad una situazione diversa, in quanto, tale patologia di norma non può ritenersi associata ai livelli di rumore solitamente presenti nelle aule scolastiche, anche se poi ogni valutazione va fatta tenendo conto le varie situazioni. Nell'aggiornamento delle "Nuove tabelle delle malattie professionali" del 9 aprile 2008, nell'elenco delle lavorazioni che espongono a rumore in assenza di un efficace isolamento acustico, non è previsto il rumore degli ambienti scolastici come noxa tabellata. Alla voce n. 75 IPOACUSIA DA RUMORE lettera "W" si riporta la seguente dicitura: "Altre lavorazioni, svolte in modo non occasionale, che comportano una esposizione personale, giornaliera o settimanale, a livelli di rumore superiori a 80 dB(A). Tale limitazione non comporta una carenza nella tutela di tali malattie, vigendo in Italia il c.d. "Sistema misto" per cui possono essere denunciate e riconosciute anche malattie e/o lavorazioni al di fuori di quelle tabellate, purché ne venga provata la natura professionale con onere della prova a carico del lavoratore.

Il rischio rumore negli ambienti scolastici va valutato tenendo presente della duplice natura del fenomeno fisico infatti, oltre ad una rumorosità interna ad es. di origine antropica, si deve tener presente anche di una rumorosità proveniente dall'esterno (traffico cittadino, ferroviario, aereo, industriale, ecc.). Rumorosità ambientale ed eventuale ipoacusia che dovesse svilupparsi a carico del personale docente, potrebbe essere oggetto della tutela dell'Inail solo dopo aver accertato che la durata e l'intensità del rumore superino i livelli ritenuti idonei dalla letteratura tali da sviluppare un danno all'apparato uditivo, escluse le forme cliniche di origine extra lavorativa (traumatiche, infettive...). Dai dati di letteratura emerge che solitamente occorrono dieci anni di esposizione per avere perdite uditive significative. Sembrerebbe da alcuni lavori che, a seguito di un'esposizione continua a 100 dBA, sia stata valutata la seguente perdita uditiva:

- 5 anni, 5 dB;
- 20 anni, 14 dB;
- 40 anni, 19 dB.

I dati forniti dalla norma ISO 1999-1990, per una esposizione ad un Leq di 75 dB(A), non riportano alcun danno a carico dell'udito, mentre esposizioni di lunga durata, solitamente ultradecennale, superiori a 75 e fino a 80 dB(A), sono causa di deficit, ancorché di lieve entità, solo in una esigua percentuale di esposti.

## CAPITOLO VII

### Casi studio

#### 7.1 Casi studio

Il presente lavoro si compone di una parte sperimentale, supportata da uno studio sul campo effettuato presso alcuni edifici d'istruzione, con lo scopo di conoscere i valori dei livelli di rumorosità e le caratteristiche acustiche di alcuni ambienti scolastici quali palestre, aule e mense. Tutto ciò si è potuto realizzare grazie alla disponibilità dei dirigenti scolastici e degli insegnanti di un Liceo Scientifico e di due Scuole Primarie situati in due comuni della Provincia di Roma.

I rilievi fonometrici sono stati effettuati con il fonometro NTi AUDIO modello XL2 e numero di matricola A2A-05387-E0. Alla sezione "ALLEGATI" sono riportate le planimetrie, con su indicati i punti di misura ed il certificato di taratura (LAT 185/3240) del fonometro. Con il presente strumento ho potuto rilevare, per gli ambienti scolastici oggetto di studio, i seguenti parametri: il livello sonoro equivalente, il livello di picco e il tempo di riverberazione.

L'indice di valutazione che consente di misurare il disturbo da rumore è il livello sonoro continuo equivalente ( $L_{eq,T}$ ), indice sintetico della composizione in frequenza e dell'andamento temporale di un fenomeno acustico. Sostanzialmente è il livello, espresso in dB, di un ipotetico rumore costante che, se sostituito al rumore reale per lo stesso intervallo di tempo, comporterebbe la stessa quantità di energia sonora.

Il Livello sonoro continuo equivalente si esprime attraverso la seguente espressione (adottando la ponderazione A):

$$\left\{ L_{eq,T} = 10 \log \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T \left[ \frac{p(t)}{p_0} \right]^2 dt \right\} \right\}$$

dove:

$p$  è il valore istantaneo della pressione sonora ponderata secondo la curva A;  
 $p_0$  è la pressione di riferimento, pari a  $2 \times 10^{-5}$  Pa, corrispondente alla soglia di udibilità a 1000 Hz;

$T$  è l'intervallo di tempo di integrazione.

Il Livello di Picco è definito come segue:

$$L_{\text{picco}} \text{ (dB)} = 10 \log \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right) \text{ (dB(lin))}$$

dove la grandezza peak è indicata dal D.Lgs 81/08 come “*valore massimo della pressione acustica istantanea ponderata in frequenza C*” ed è molto importante nella valutazione del rumore impulsivo. È noto che, a parità di contenuto energetico medio, un rumore, che presenta caratteristiche di impulsività, costituisce un fattore di rischio aggiuntivo per la salute a cui bisognerebbe tenere conto nella valutazione dei rischi. Il livello di picco che non può essere mai superato, stando a quanto previsto dalla normativa sopra menzionata, è pari a 140 dB “C”.

Il tempo di riverberazione definisce la qualità acustica di uno spazio. Questo concetto fu introdotto da Sabine, ricercatore dell'Università di Harvard, pioniere dell'acustica, il quale individuò la seguente equazione sulla riverberazione:

$$T_{60} = \frac{0.161V}{S \cdot \alpha} \quad \text{(s)}$$

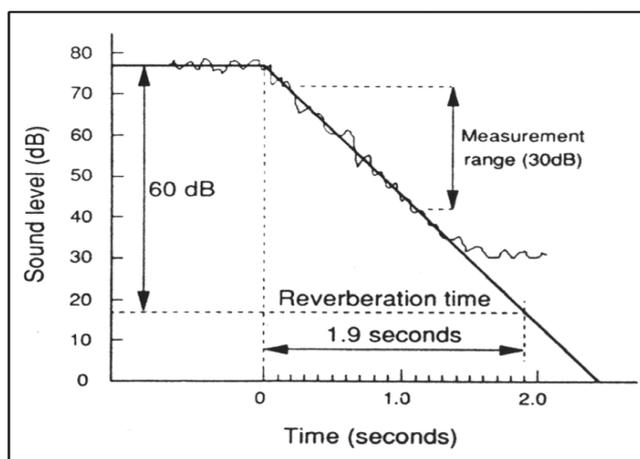
Dove:

$T_{60}$  = tempo di riverberazione (s);

$V$  = volume della stanza ( $m^3$ );

$S$  = superficie totale di assorbimento acustico della stanza ( $m^2$ );

$\alpha$  = coefficiente medio di assorbimento delle superfici della stanza.



Il tempo di riverberazione indica il tempo durante il quale una certa quantità di energia sonora continua a persistere all'interno di un ambiente chiuso, dopo che il segnale sonoro è stato interrotto. Secondo la norma UNI EN ISO 3382-2, il tempo di riverberazione si determina a partire dalla curva di decadimento del livello di pressione sonora in funzione del tempo, in un punto dell'ambiente, dopo lo spegnimento della sorgente sonora.

Nello caso specifico degli ambienti scolastici, la Circolare 3150 del 1967 prevede che la media dei tempi di riverberazione misurati alle frequenze 250-500-1000-2000 Hz, non debba superare 1,2 s ad aula arredata, con la presenza di due persone al massimo, mentre per le palestre, qualora non debbano essere utilizzate come auditorio, non debba superare 2,2 s. L'OMS stabilisce, invece, che all'interno delle classi il tempo di riverberazione debba essere pari a 0,6 s, valore che deve essere ridotto in presenza di bambini con problemi all'udito.

Per misurare il tempo di riverbero si deve necessariamente ricorrere a delle sorgenti sonore, in grado di eccitare uno spazio chiuso, le quali devono possedere energia sufficiente su tutto lo spettro in modo da assicurare decadimenti che partono da livelli sufficientemente al di sopra di quello del rumore. Nel nostro caso si è scelta come sorgente sonora impulsiva il palloncino.

## 7.2 Liceo Scientifico “*Falcone Borsellino*” di Zagarolo

Il Liceo Scientifico è un corso di studi dell’Istituto d’Istruzione Superiore “Borsellino e Falcone” di Zagarolo ed è inserito nel complesso che comprende la scuola materna, elementare e media, nelle vicinanze del centro del paese in una zona tranquilla e immersa nel verde di un boschetto.



In questo edificio scolastico ho effettuato i rilievi fonometrici soltanto nella palestra, situata al piano terra del complesso dove sono presenti anche locali di servizio ed il vano ascensore.

I dati geometrici ed occupazionali possono essere riassunti nella seguente tabella:

Superficie pavimento	368m <sup>2</sup>
Altezza locale	7,50m
Volume	2760m <sup>3</sup>
N. di persone durante i rilievi fonometrici	54

I rilievi fonometrici, della durata ognuno di ca. 5 minuti, sono stati effettuati in 3 diverse postazioni, indicate in planimetria, con le due porte laterali e la porta d’ingresso aperte ed in presenza di due classi rispettivamente di 27 alunni.

I valori emersi dalle misurazioni sono i seguenti:

<i>Punto di misura</i>	<i>Leq dB(A)</i>	<i>Leq dB(A)(max)</i>	<i>Lpeak dB(C)</i>
N.1	84.5	95.5	99.7
N.2	86	97.5	110.4
N.3	82.4	94	109.4

Nel corso delle misurazioni, una parte di studenti era impegnata in una partita di pallavolo, mentre la restante parte nello svolgimento di esercizi fisici. Dalla misurazione del tempo di riverberazione nella palestra, sono emersi dei valori molto elevati, riportati nell'allegato N1, per i quali si dovrà provvedere necessariamente con un intervento di bonifica per riportare tali valori ad una condizione di accettabilità.

Dalla palestra, per mezzo di due porte, è possibile accedere ad un balcone che affaccia su una zona tranquilla caratterizzata da palazzine e spazi verdi. Al fine di conoscere se il rumore esterno potesse incidere su quello interno, ho proceduto ad effettuare delle misurazioni posizionandomi al centro del balcone a una distanza di tre metri circa dalle due porte finestre aperte rilevando i seguenti dati:

<i>Punto di misura</i>	<i>Leq dB(A)</i>	<i>Leq dB(A)(max)</i>	<i>Lpeak dB(C)</i>
Balcone esterno	70.8	83.9	87.3

Dai valori registrati si è potuta escludere un'influenza del rumore esterno sugli elevati livelli di rumorosità riportati all'interno della palestra, in quanto, questi valori sono riconducibili alle emissioni sonore provenienti dall'interno della palestra.

### 7.3 Scuola Primaria e dell'Infanzia "Goffredo Mameli" di Palestrina

La scuola primaria e dell'infanzia "Goffredo Mameli" è ubicata nei pressi del centro storico di Palestrina. A tutti noto semplicemente come *L'Edificio*", svolge la sua onorata attività fin dal lontano 1919 e continua ad

essere “luogo di cultura”, ma anche di gioco divertimento per tante generazioni di alunni.



In questo edificio scolastico ho effettuato rilievi fonometrici nei 2 locali mensa e in due aule.

La mensa è situata al piano terra della struttura che comprende 2 ambienti, di dimensioni diverse, ai quali si accede da un corridoio comune.

Come si può vedere dalle seguenti foto, la sala più grande (A) presenta tre finestre mentre quella più piccola (B) ne presenta due.



Foto sala mensa (A)



Foto sala mensa (B)

I dati geometrici dei locali mensa sono i seguenti:

<i>Locale</i>	<i>Superficie pavimento</i>	<i>Altezza</i>	<i>Volume</i>
Sala mensa A	58m <sup>2</sup>	4.19m	243m <sup>3</sup>
Sala mensa B	47m <sup>2</sup>	4.16m	195m <sup>3</sup>

Durante i rilievi la sala (A) era occupata da 67 bambini e 3 insegnanti mentre la sala (B) da 48 bambini e 2 insegnanti. I valori riportati dall'indagine fonometrica sono i seguenti:

<i>Locale</i>	<i>Leq dB(A)</i>	<i>Leq dB(A) (max)</i>	<i>Lpeak dB(C)</i>
Sala mensa A	86.2	96.2	98.1
Sala mensa B	91.5	118.5	104.1

Successivamente ho effettuato i rilievi fonometrici nelle classi 5C e 4A.

L'aula che ospita la classe 5C (foto) è caratterizzata dai seguenti dati geometrici ed occupazionali:

Superficie pavimento	30m <sup>2</sup>
Altezza locale	5m
Volume	150m <sup>3</sup>
N. di persone durante i rilievi fonometrici	24 bambini 1 insegnante



Foto aula 5C

In questa aula sono presenti due finestre di cui una aperta durante i rilievi fonometrici. Entrambe le misurazioni sono state effettuate posizionando lo strumento ad una distanza circa di 15-20 cm dall'insegnante, inizialmente durante lo svolgimento di un'attività di lettura e comprensione di un testo e successivamente nel corso di una ricreazione dalla durata di 5 minuti ca. In tabella sono elencati i valori:

<i>Attività</i>	<i>Leq dB(A)</i>	<i>Leq dB(A) (max)</i>	<i>Lpeak dB(C)</i>
<u>Lettura e comprensione di un testo</u>	68	82	106
<u>Ricreazione</u>	84.5	95.6	107

L'aula che ospita la classe 4A presenta i seguenti dati geometrici ed occupazionali:

Superficie pavimento	43m <sup>2</sup>
Altezza locale	5.05m
Volume	217m <sup>3</sup>
N. di persone durante i rilievi fonometrici	26 bambini 1 insegnante



Foto aula 4A

Anche in questa seconda aula i rilievi sono stati effettuati in due distinti momenti: nel corso di una lezione con i bambini seduti e l'insegnante seduta in cattedra che si accinge a spiegare e durante lo svolgimento di un'attività di gruppo con spostamenti e brusii. I dati rilevati sono riassunti come segue:

<i>Attività</i>	<i>Leq dB(A)</i>	<i>Leq dB(A) (max)</i>	<i>Lpeak dB(C)</i>
<u>Bambini seduti con l'insegnante che parla</u>	73.5	88.0	113.2
<u>Bambini che lavorano in gruppo.</u>	80.7	95.3	107.2

È importante notare come in entrambe le aule scolastiche siano emersi dei valori di rumore di fondo nettamente superiori a quello consigliato

dall'OMS e pari a 35 dB(A) che rappresenterebbe il livello massimo ammissibile nelle aule scolastiche durante l'attività didattica.

#### 7.4 Scuola Primaria e dell'Infanzia "Karol Wojtyła" di Palestrina



In questo complesso scolastico ho effettuato i rilievi fonometrici in due aule 1N e 1M, nella palestra e nella mensa.

L'aula che ospita la classe 1N presenta i seguenti dati geometrici ed occupazionali:

Superficie pavimento	33m <sup>2</sup>
Altezza locale	2.97m
Volume	98m <sup>3</sup>
N. di persone durante i rilievi fonometrici	21 alunni 2 insegnanti



Foto aula 1N

La misurazione dei livelli di rumore di fondo è stata effettuata durante lo svolgimento, da parte dei bambini e dell'insegnante, di un'attività di gruppo

e successivamente nel corso di un'attività individuale. Il fonometro ha registrato i seguenti valori numerici:

<i>Attività</i>	<i>Leq dB(A)</i>	<i>Leq dB(A)(max)</i>	<i>Lpeak dB(C)</i>
<u>Bambini che lavorano in gruppo con spostamenti e brusii.</u>	80	94.7	105.3
<u>Bambini seduti che lavorano individualmente</u>	78.3	93.7	108.9

La seconda aula oggetto di studio è stata la 1M. A seguire i dati geometrici ed occupazionali:

Superficie pavimento	38m <sup>2</sup>
Altezza locale	2.98m
Volume	113m <sup>3</sup>
N. di persone durante i rilievi fonometrici	21 alunni 1 insegnanti



Foto aula 1M

Anche in questo secondo caso i rilievi sono stati effettuati in due circostanze ben definite: durante il regolare svolgimento di una lezione e nel corso della ricreazione. I valori di rumore rilevati dallo strumento in questa aula sono i seguenti:

<i>Attività</i>	<i>Leq dB(A)</i>	<i>Leq dB(A) (max)</i>	<i>Lpeak dB(C)</i>
<u>Bambini seduti con l'insegnante che parla</u>	74.5	92	101.7
<u>Ricreazione</u>	77.3	91.8	108.4

Nell'edificio scolastico è presente una palestra dove prevalentemente viene svolta attività fisica.



Foto palestra

Strutturalmente presenta un soffitto in cemento armato, mentre superiormente le pareti sono percorse da finestroni rettangolari. L'intero perimetro del locale è rivestito da pannelli in cartongesso posti ad un'altezza da terra di 1.40 m e montati su un telaio in ferro dallo spessore di 1.5 cm.

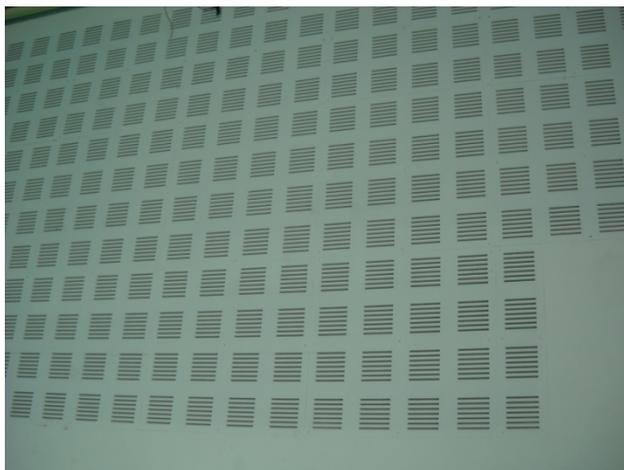


Foto pannellatura della palestra

I pannelli di cartongesso, montati ad una distanza dalla parete di 0.5 cm, hanno uno spessore di 1.5 cm e sono caratterizzati dalla presenza di perforazioni lineari orizzontali di 9.5 cm di larghezza e di 4 mm di altezza. In alcuni punti presentano delle rotture probabilmente legate al trascorrere del tempo, in quanto, l'installazione risale ad anni addietro.

Il pavimento è rivestito in gomma, tipo linoleum.

La palestra presenta le seguenti caratteristiche geometriche:

Superficie pavimento	201,48m <sup>2</sup>
Altezza locale	5.62m
Volume	1132,34m <sup>3</sup>

In questo locale i rilievi fonometrici sono stati effettuati durante lo svolgimento di una lezione articolata in due attività: riscaldamento iniziale e gara di staffetta.

I valori rilevati sono i seguenti:

<i>Attività</i>	<i>Leq dB(A)</i>	<i>Leq dB(A) max</i>	<i>Lpeak dB(C)</i>
<u>Riscaldamento</u>	82.8	97.1	101.5
<u>Staffetta</u>	84.1	99.5	104

L'unico grande locale adibito a mensa è collocato al piano terra ed ha la capacità di ospitare giornalmente una media di 250-300 persone.



Foto locale mensa

Presenta i seguenti dati geometrici:

Superficie pavimento	283,03m <sup>2</sup>
Altezza locale	2.86m
Volume	809,48m <sup>3</sup>

Il giorno in cui ho effettuato i rilievi fonometrici erano presenti 244 bambini e 20 insegnanti.

I livelli sonori rilevati sono i seguenti:

<i>Leq dB(A)</i>	<i>Leq dB(A) (max)</i>	<i>Lpeak dB(C)</i>
80	93.5	103.8

Per le considerazioni in merito ai tempi di riverbero registrati dal fonometro e riportati in allegato (1-8), si rimanda al paragrafo 8.3.

#### 7.5 Indagini sui livelli di esposizione al rumore degli insegnanti di scuola Primaria e Superiore

È ormai noto che l'esposizione al rumore nei luoghi di lavoro rappresenta un fattore di rischio per la salute e sicurezza di ogni lavoratore. I dati rilevati

nel corso del mio studio mostrano chiaramente che gli insegnanti sono esposti, nei diversi ambienti scolastici che regolarmente frequentano, a dei Leq molto elevati. Ad esempio, nelle aule sono stati registrati valori superiori agli 80 dB(A) mentre in alcune sale mensa e locali palestra sono stati raggiunti rispettivamente valori di 91.5 dB(A) e 86 dB(A). A tal proposito, sulla base di questi dati, ho ritenuto interessante calcolare il livello di esposizione al rumore, giornaliero e settimanale, a cui un insegnante è sottoposto. Premesso che il DLgs 81/08 definisce il livello di esposizione giornaliera al rumore (Lex 8h) come il valore medio, ponderato in frequenza, dei livelli di esposizione al rumore per una giornata lavorativa nominale di otto ore, nel mio specifico caso, ho dovuto procedere al calcolo del livello di esposizione tenendo conto del fatto che una giornata lavorativa di un insegnante di scuola primaria è composta da quattro ore. Per la valutazione del livello di esposizione settimanale Lex(w) definito come il valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione giornaliera al rumore per una settimana nominale di cinque giornate lavorative di otto ore, ho dovuto far riferimento ai Lex ponderati sulle quattro ore giornaliere.

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori di esposizione al rumore Lex(4h) e Lex(w) a cui sono di media esposti gli insegnanti degli istituti oggetto di tesi:

Istituto d'istruzione "G.Mameli":

Lex,4h (giornata tipo con intervallo ricreativo)	79,6 dB(A)
Lex,4h (giornata tipo compresa di intervallo in sala mensa)	82.1 dB(A)
Lex(w) (5 giorni)	80.8 dB(A)

Istituto d'istruzione "K. Wojtyla":

Lex,4h (giornata tipo con intervallo ricreativo)	79 dB(A)
Lex,4h (giornata tipo compresa di intervallo in sala mensa)	79.6 dB(A)
Lex(w) (5 giorni)	79.3 dB(A)

Liceo Scientifico "Falcone Borsellino":

Lex,4h	81.3 dB(A)
Lex(w) (5 giorni)	80.8 dB(A)

In quest'ultimo caso i dati sono stati ricavati tenendo conto che un insegnante di educazione fisica lavora settimanalmente 18 ore (3 giorni 4 ore; 2 giorni 3 ore). Gli insegnanti di educazione fisica possono essere soggetti, inaspettatamente, a livelli di esposizione maggiori di 80 dB(A) e proprio i valori emersi dalle mie campagne di misurazioni confermano il dato di letteratura. Considerando che in Italia lavorano più di 35000 insegnanti di educazione fisica, sarebbe opportuno studiare il problema dell'esposizione al rumore della categoria, ed inoltre analizzare il contributo di tutti i fattori che possono influenzare l'ambiente acustico di una palestra.

## CAPITOLO VIII

### Soluzioni per migliorare l'acustica degli ambienti scolastici

#### 8.1 Assorbimento sonoro

L'impiego di materiali assorbenti negli ambienti chiusi determina la riduzione della coda sonora, l'assorbimento dell'energia di riflessioni tardive e indesiderate e del rumore di fondo. La scelta dei materiali deve essere orientata verso il raggiungimento di un tempo di riverberazione ottimale nelle diverse bande di frequenza, in funzione della destinazione d'uso dell'ambiente.

Le proprietà assorbenti dei materiali sono qualificate attraverso il coefficiente di assorbimento  $\alpha$ , definito come il rapporto tra l'energia sonora assorbita e quella incidente. Il valore di  $\alpha$  varia da 0 quando tutta l'energia viene riflessa, a 1, quando tutta l'energia viene assorbita. Tuttavia, per un medesimo materiale il valore di  $\alpha$  varia al variare delle frequenze e dell'angolo di incidenza dell'onda acustica, quindi i coefficienti di assorbimento acustico sono espressi in funzione della frequenza in banda d'ottava o  $1/3$  d'ottava.

Il principio fisico che regola l'assorbimento sonoro è la conversione di parte dell'energia incidente in calore e si realizza attraverso differenti modalità: assorbimento acustico per porosità, per risonanza di membrana, per risonanza di cavità. Nella maggior parte dei casi i materiali fonoassorbenti, in senso stretto, agiscono soprattutto attraverso il principio dell'assorbimento per porosità, mentre l'assorbimento per risonanza di membrana e/o di cavità si realizza attraverso elementi strutturali complessi.

#### 8.2 Materiali fonoassorbenti porosi, fibrosi ed a celle aperte

L'assorbimento acustico dei materiali porosi è determinato dalla conversione in calore dell'energia meccanica trasportata dall'onda incidente attraverso fenomeni di attrito che si sviluppano all'interno delle micro cavità aperte all'aria. L'onda acustica incidente fa oscillare l'aria interna ai pori,

che dissipa energia per attrito viscoso, determinando un lieve aumento di temperatura non percepibile dall'uomo. Esempi di materiali fonoassorbenti porosi sono le fibre minerali, i poliuretani espansi a cellule aperte, le fibre vegetali, le schiume melamminiche, le fibre di poliestere etc. Le caratteristiche di assorbimento acustico di questi materiali, sono legate alla frequenza del suono incidente ed allo spessore del materiale stesso e aumentano al crescere di entrambe. Valori elevati di  $\alpha$  si raggiungono alle alte frequenze, mentre alle medie e basse frequenze l'assorbimento acustico aumenta con lo spessore dei pannelli. Per avere valori elevati di assorbimento in un campo di frequenze sufficientemente esteso verso le basse frequenze occorre pertanto, impiegare spessori adeguati di materiali fonoassorbenti porosi.

I materiali fibrosi riducono le loro prestazioni se sottoposti superficialmente a trattamenti quali verniciatura o ricopertura con materiale non poroso.

Gli assorbenti acustici porosi si possono distinguere in fonoassorbenti fibrosi e materiali fonoassorbenti a celle aperte. Tra i materiali fonoassorbenti fibrosi ricordiamo:

- *Lana di vetro*: silicato amorfo, derivato dal vetro commercializzato sotto forma di rotoli, materassini e pannelli fonoassorbenti. Possiede un'alta capacità di inglobare aria attraverso una corposa struttura lanuginosa e pertanto di disperdere in calore l'onda sonora. Si tratta di un prodotto relativamente economico ed altamente efficiente nella riduzione del rumore.
- *Lana di Roccia*: Possiede caratteristiche similari alla lana di vetro e deriva da uno speciale procedimento estrattivo che riguarda la roccia vulcanica. Ha caratteristiche ignifughe superiori a quelle della lana di vetro. Si rinviene sotto forma di pannelli e rotoli.
- *Sughero*: il miglior materiale assorbente acustico esistente in natura. Da preferire alla lana di vetro e a quella di roccia tutte le volte in cui si intendono assecondare esigenze di natura ecologica e salutistica

senza badare a spese. Acquistabile sotto forma di materassini o di pannelli fonoassorbenti.

- *Truciolato di legno*: è realizzato attraverso l'accorpamento di fibre legnose derivanti dagli scarti della lavorazione del legno che vengono pressate e incollate tra loro fino a formare pannelli rigidi e resistenti. Si ottiene un prodotto con discrete doti fonoassorbenti e fonoisolanti.
- *Moquette e tappeti*: manufatti in tessuto naturale (lana, linoleum, canapa, juta, fibra di cocco) ovvero realizzati su base acrilica, soprattutto nel caso della moquette. Tappeti e moquettes sono comunemente utilizzati per l'arredamento di case e spazi commerciali e contribuiscono significativamente nel conseguimento di determinati standard di comfort acustico.
- *Tendaggi*: le tende realizzate in stoffa o in altri tessuti naturali o sintetici contribuiscono a schermare l'onda sonora migliorando le caratteristiche riverberanti del suono al fine di una migliore fruizione degli spazi.

Per materiali fonoassorbenti a celle aperte intendiamo:

- *Poliuretano espanso*: polimero che ha ottime caratteristiche di materiale assorbente acustico da impiegare sia nel riempimento di intercapedini per aumentare la prestazione fonoisolante delle pareti, sia a vista per rispondere ad esigenze di miglioria del comfort acustico di ambienti abitativi ed insediamenti umani civili e commerciali. Si presta ad applicazioni tecniche differenziate a seconda delle sue versioni produttive (liscio,bugnato,piramidale).
- *Melamina espansa*: si tratta di materiale fonoassorbente leggero e flessibile, originato da resine o foam acrilici, che rispetto al poliuretano espanso risponde meglio ad esigenze antincendio essendo un prodotto ignifugo ad alta classificazione.

Altri assorbenti acustici secondari i: polietilene espanso, polistirene espanso (polistirolo).

I controsoffitti e i pannelli fonoassorbenti a parete sono testati in termini di resistenza agli urti e suddivisi in tre classi in base ai campi di applicazione, ai sensi della norma europea EN 13964:

- I sistemi di controsoffitti e i pannelli fonoassorbenti a parete nella classe 1A sono adatti a polisportive e palestre destinate a sport in cui la palla viene lanciata ad alta velocità, ad esempio pallamano e tennis. Gli assorbenti acustici per soffitti e pareti che soddisfano i requisiti della classe 1A sono disponibili nella gamma Ecophon Super G™ Plus.
- I sistemi di controsoffitti nella classe 2A sono raccomandati per palestre e altri locali in cui si praticano sport in cui la palla rimane più bassa, come pallavolo e calcetto.

Gli assorbenti acustici per soffitti e pareti che soddisfano i requisiti della classe 2A sono disponibili nella gamma Ecophon Super G™.

- I sistemi di controsoffitti nelle classi 2A e 3A sono adatti a tutti i locali e le situazioni che richiedono un controsoffitto resistente agli urti, ad esempio corridoi scolastici e asili.

La sopracitata norma UNI EN 13964:2007 definisce i requisiti essenziali di un controsoffitto:

*Sicurezza in caso di incendio:*

- Reazione al fuoco
- Resistenza al fuoco

*Resistenza statica e dimensionale:*

- Capacità portante (sottostruttura)
- Resistenza a flessione (componenti della membrana)

*Acustica:*

- Isolamento acustico del rumore aereo
- Assorbimento acustico

*Igiene, salute e ambiente:*

- assenza rilascio di formaldeide e/o altre sostanze pericolose

- assenza rilascio amianto

*Proprietà termiche:*

- Conduttività termica

*Durabilità:*

- Durabilità

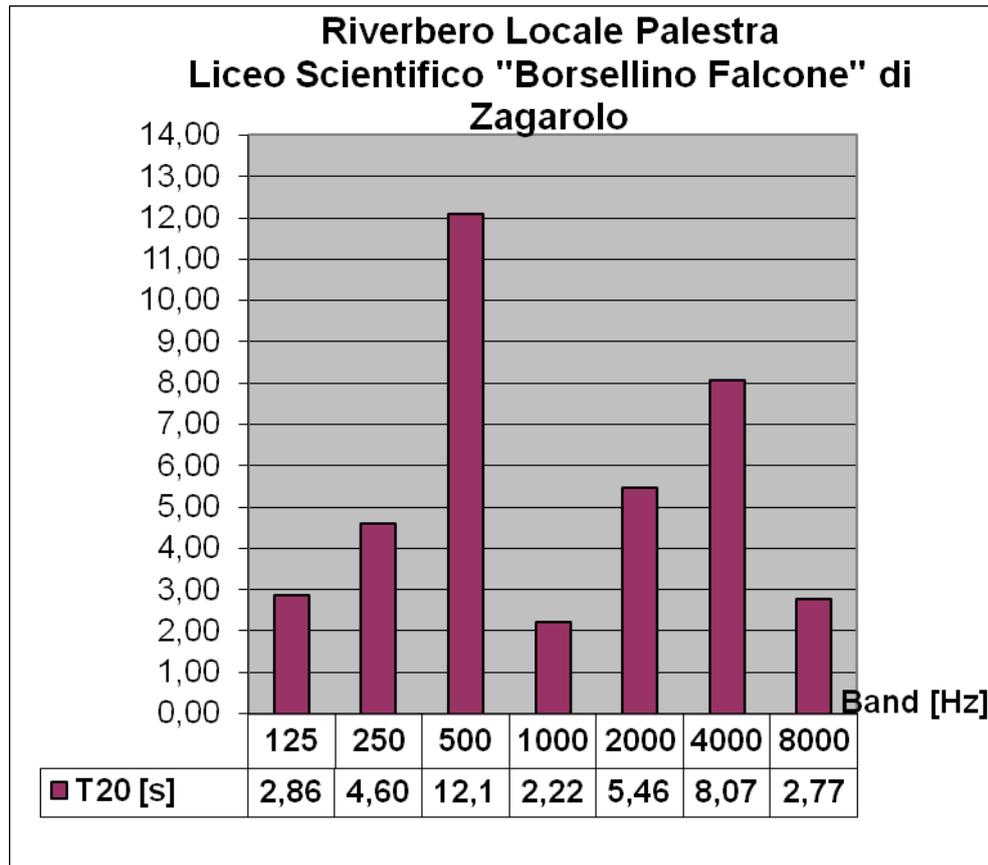
*Sicurezza nell'impiego:*

- Proprietà di frantumazione (rottura in condizioni di sicurezza)
- Sicurezza elettrica

### 8.3 Osservazioni sui valori di T60 e proposte per interventi di bonifica dei locali scolastici

Nel corso di questa trattazione si focalizzerà l'attenzione sui valori dei tempi di riverbero per ogni locale scolastico oggetto di studio e saranno sollevate delle proposte per il miglioramento delle condizioni acustiche dei suddetti ambienti. La scelta dei materiali fonoassorbenti è stata effettuata sulla base delle informazioni contenute nel manuale di buona pratica dell'ISPESL: *“Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro”*.

Nella palestra del Liceo Scientifico “Falcone Borsellino” di Zagarolo è emerso, come si evince dal seguente grafico, che per le frequenze comprese tra 250Hz e 2000Hz, ed in particolare a 500 Hz (12,10s), i valori di T60 sono eccessivamente elevati rispetto a quello consigliato dalla Circolare 3150 del 1967 e pari a 2.2 s.

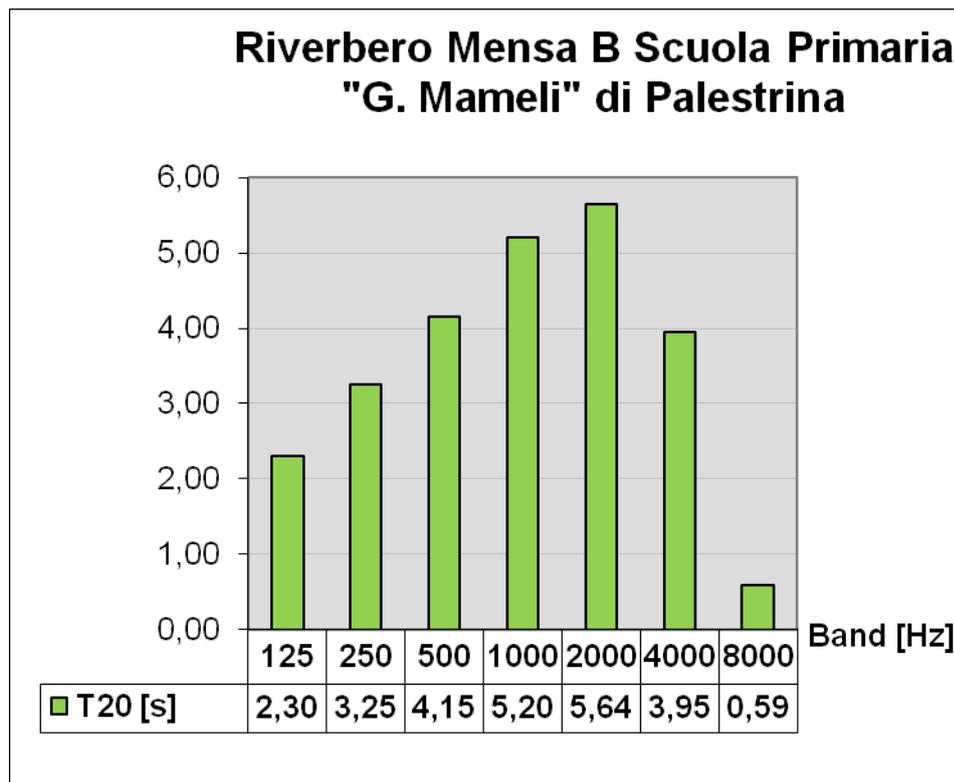


Per migliorare le condizioni acustiche di questo ambiente, un possibile intervento potrebbe consistere nell'installazione di idonei pannelli fonoassorbenti tali da resistere agli urti ed agli impatti, inevitabili negli sport in cui gli allievi utilizzano palle o mazze o svolgono altri esercizi ginnici. Per le pareti si potrebbe ricorrere ad un rivestimento di legno a pannelli perforati (fori 10% area pannello) con 5 cm di fibra di vetro nell'intercapedine i quali sono caratterizzati da un coefficiente di assorbimento per le frequenze 250-500 Hz pari a  $0.8\alpha$ . Tra i materiali fibrosi si consigliano pannelli lisci in lana di vetro dallo spessore di 40 mm che garantiscono un coefficiente di assorbimento, in particolare per le frequenze comprese tra 250-500Hz rispettivamente di  $0.80-0.95\alpha$ . Non in ultimo si potrebbe pensare ad un intervento di bonifica del soffitto, con materiali cellulari (poliuretanic). Più specificatamente si tratta di rotoli o lastre, con

uno spessore di 100 mm e un coefficiente di assorbimento a 250 e 500 Hz di 0.55 e 0.90 $\alpha$ , la cui superficie ha un andamento piramidale.

Edificio scolastico "G.Mameli"

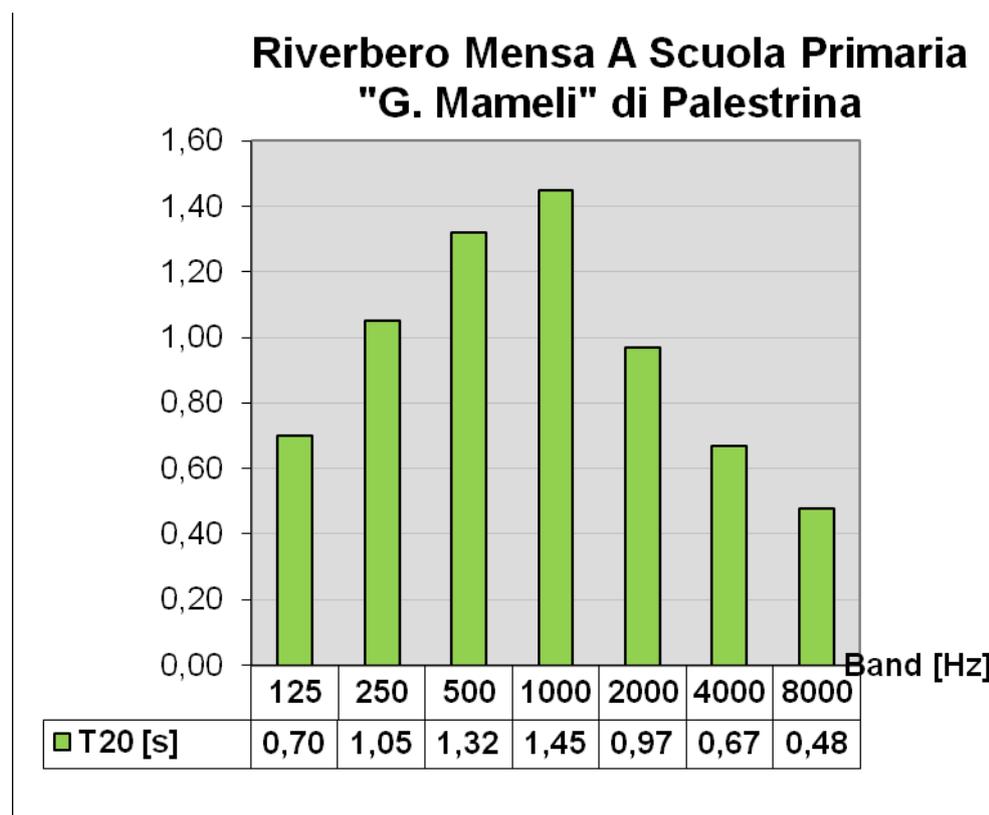
Nel locale mensa B, il fonometro ha registrato i seguenti valori di T60:



Come si osserva dal grafico, in corrispondenza delle frequenze comprese tra 250 e 2000 Hz, si evidenzia un andamento crescente con valori compresi tra 3,25 e 5.64 s nettamente superiori rispetto a quelli considerati accettabili (0.4-0.6s). Dai sopralluoghi ho potuto appurare la presenza di un controsoffitto posto ad un'altezza di 4,16 rispetto al piano di calpestio. Per migliorare l'acustica, assolutamente sfavorevole, si potrebbe pensare di ridurre ulteriormente l'altezza del controsoffitto a circa 3m. Laddove ciò non fosse possibile si potrebbero installare pannelli lisci in lana di vetro (spessore 40mm) caratterizzati da buoni coefficienti di assorbimento per le

frequenze comprese tra 125 e 4000 Hz sulle pareti, mentre sul soffitto materiali cellulari, piramidali, in rotoli o lastre.

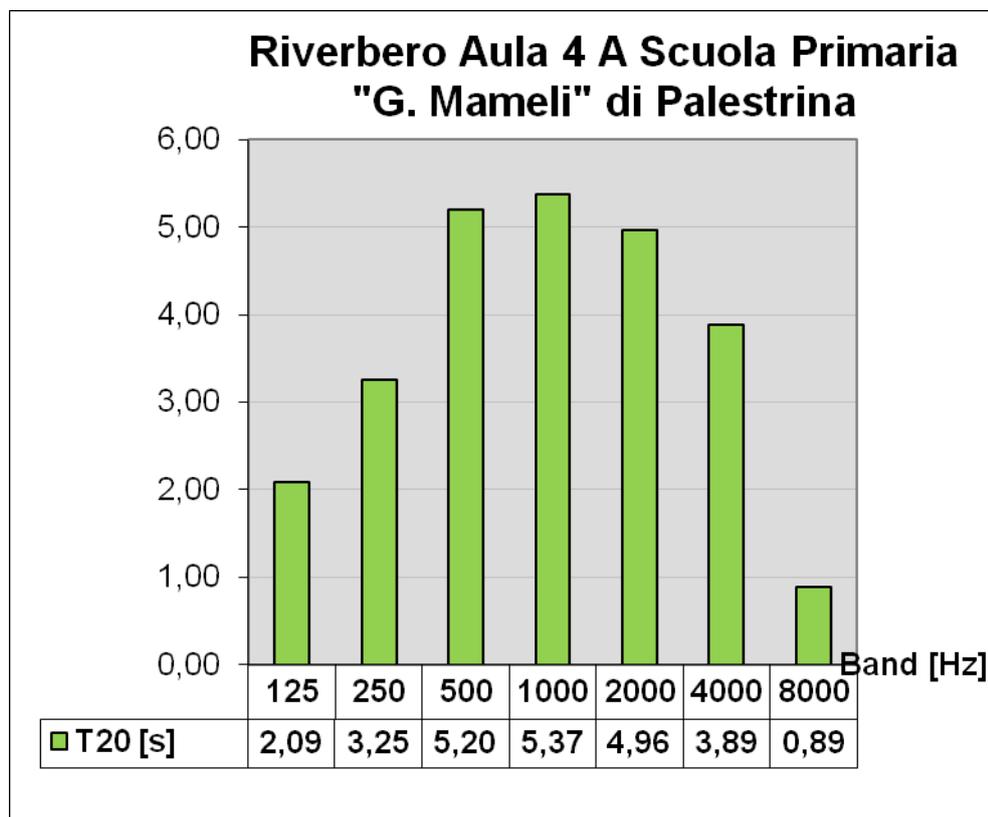
La sala mensa A del medesimo edificio, invece, si caratterizza per i seguenti valori di T60:



Da un'analisi comparativa dei due grafici, relativi ai due locali mensa, emerge che i valori registrati in questo ambiente sono nettamente inferiori a quelli della sala mensa B. Il dato è giustificato in parte anche dalle diverse caratteristiche strutturali dei due locali. La sala mensa in questione infatti, anche se di maggiori dimensioni, presenta due ampie aperture libere da porte che immettono verso altri ambienti; si configura una situazione di "semicampo libero", il che permette una maggiore dispersione delle onde sonore. Considerato che nei locali mensa il problema della comunicazione è comunque di discreta importanza, è necessario intervenire sulle medie frequenze da 250 a 1000Hz. Data la presenza di un controsoffitto

posizionato a 4,19 m dal piano di calpestio, si consiglia di ridurre ulteriormente l'altezza del locale fino a circa 3 m. Laddove ciò non fosse possibile si potrebbero installare sulle pareti dei pannelli a base di fibre di Kenaf e canapa intrecciati e termo fissate tridimensionalmente a cui viene aggiunta una minima parte di fibre di rinforzo in poliestere (Fiberkenaf Pan) che garantiscono un fono assorbimento pari al 62% sui quali è possibile anche intervenire graficamente.

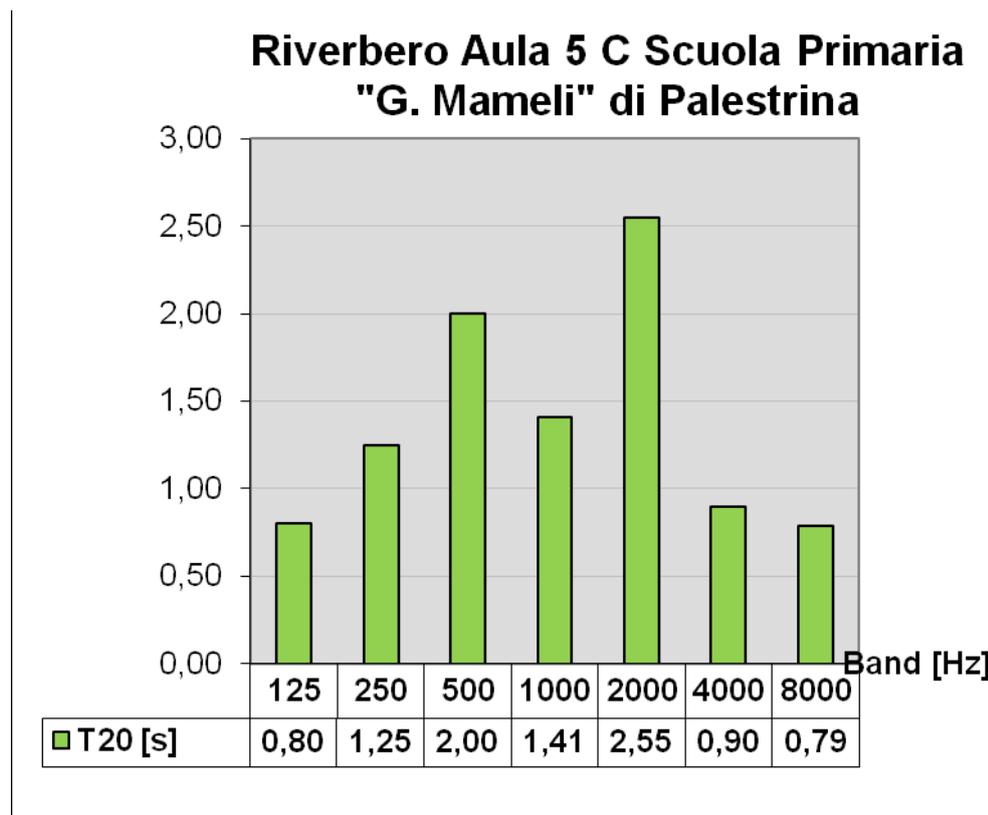
L'aula 4A è caratterizzata dai seguenti tempi di riverbero:



Come si può osservare dal grafico si tratta di valori molto elevati rispetto a quelli ritenuti accettabili dalla normativa. In particolare per le frequenze che interessano la comprensione del messaggio verbale 250-500-1000-2000 Hz, sono stati registrati dallo strumento valori di T60 compresi tra 3,25 e 5,37 s. Un primo intervento realizzabile potrebbe consistere nella realizzazione di un controsoffitto ad un'altezza di 3 m dal piano di calpestio; le pareti

potrebbero essere rivestite con pannelli lisci in lana di vetro dallo spessore di 40 mm. Questo tipo di materiale grazie ai suoi coefficienti di assorbimento ci consente di agire sufficientemente su tutte le frequenze di nostro interesse.

Una simile situazione ma con valori di T60 leggermente inferiori è stata rilevata nell'aula 5C. A seguire il grafico:

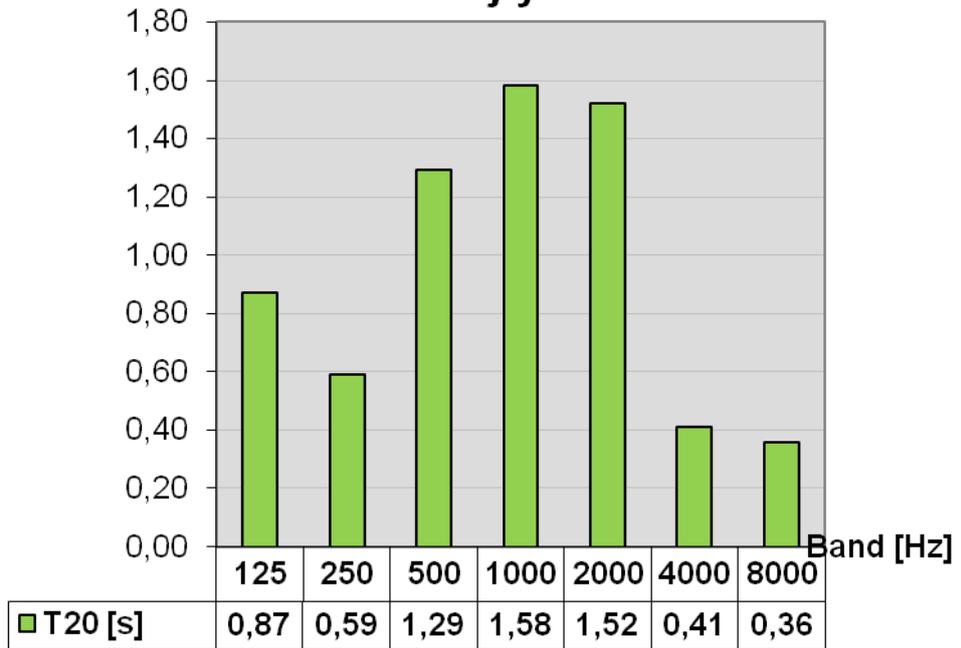


In questo locale si potrebbe intervenire tenendo conto dei suggerimenti previsti per l'aula precedentemente descritta date le simili caratteristiche strutturali quindi per mezzo di una controsoffitto che consente di ridurre l'altezza ad un valore intorno ai 3 m e con eventuali pannelli in lana di vetro da installare sulle pareti.

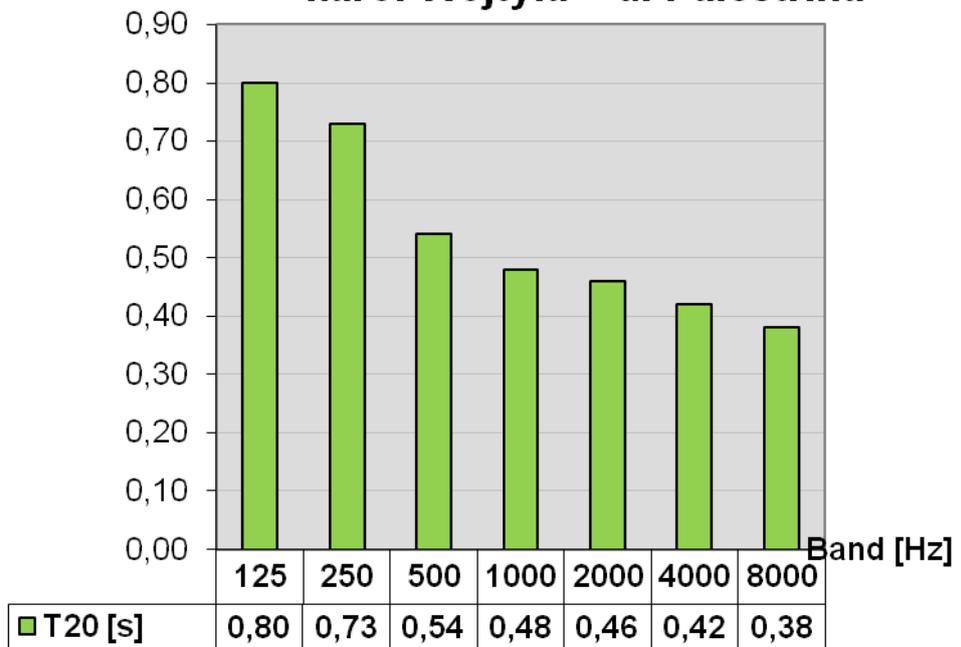
Edificio scolastico "Karol Wojtyła"

Nelle aule 1N e 1M sono stati rilevati i seguenti valori di T60:

### Riverbero Aula 1 N Scuola Primaria "Karol Wojtyla" di Palestrina

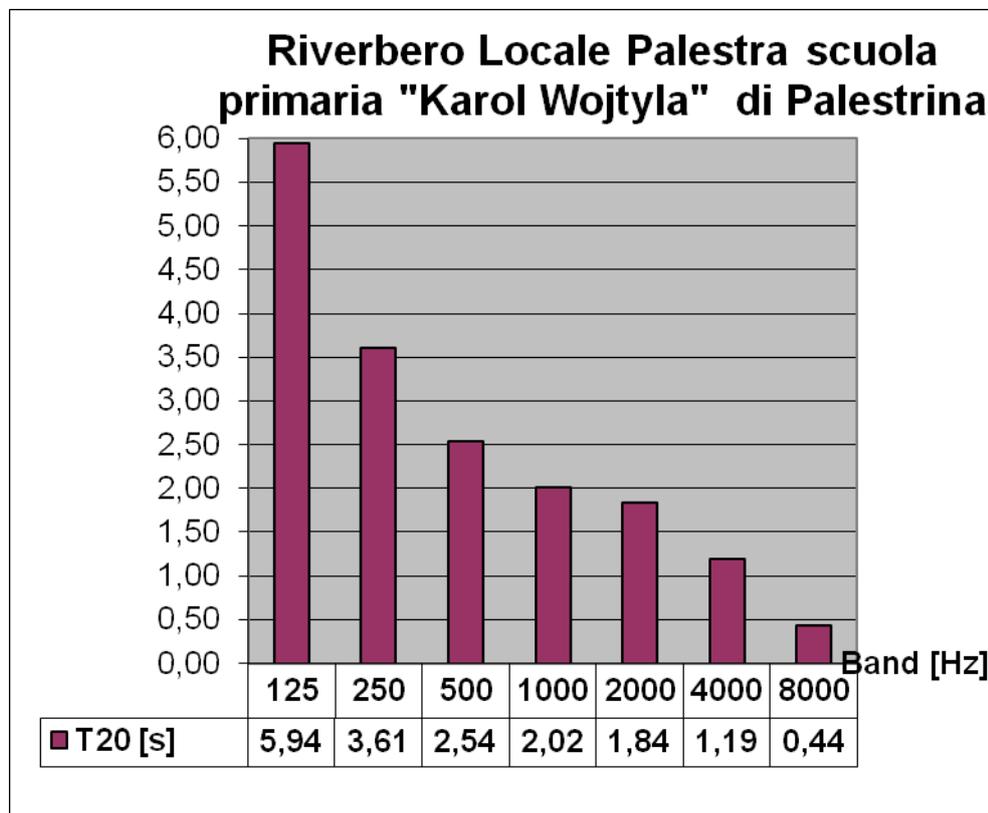


### Riverbero Aula 1 M Scuola Primaria "karol Wojtyla" di Palestrina



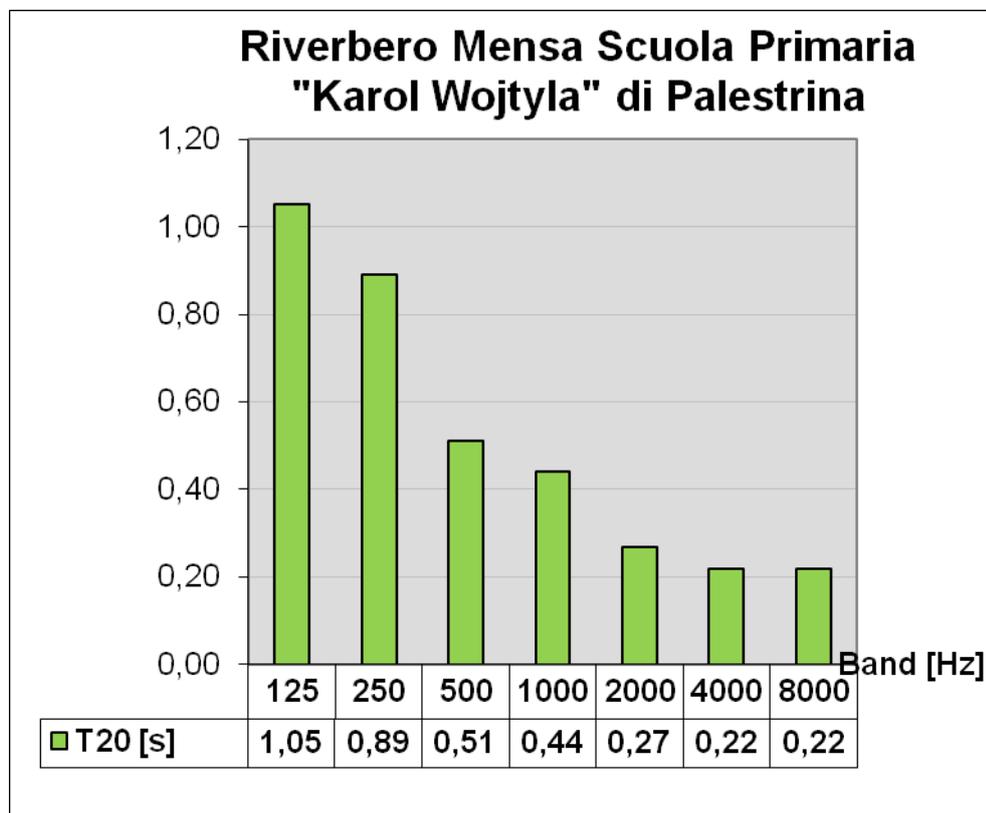
Come si può osservare da entrambi i grafici emergono dei valori di T60 molto più bassi rispetto a quelli delle aule precedentemente analizzate. Sicuramente le differenti caratteristiche strutturali concorrono a giustificare i dati numerici riportati dallo strumento. A mio parere non sembra necessario intervenire con specifici interventi per modificare le caratteristiche acustiche di questi ambienti. Per raggiungere una condizione di “aula ideale” si potrebbero installare dei tendaggi che, oltre a proteggere dai raggi solari, riducono anche il fenomeno del riverbero.

Il seguente grafico ci mostra i tempi di riverbero della palestra:



In questo locale dove prevalentemente si svolge attività motoria, sono emersi dei valori di T60 che si avvicinano molto a quelli ritenuti ottimali dalla normativa (2.2s dalla Circolare 3150 del 1967). Come precedente esposto, le pareti della palestra presentano un rivestimento lungo tutto il perimetro, di pannelli fonoassorbenti che garantiscono un sufficiente

assorbimento delle onde sonore. Per migliorare ulteriormente le caratteristiche acustiche si potrebbe pensare a delle soluzioni che vadano ad agire essenzialmente sui 250 e 500Hz. Per le basse frequenze si consigliano i cosiddetti “Tube Trap” o trappola per bassi i quali possono essere posizionati sia a ridosso di pareti o sospesi a parete o eventualmente al centro della stanza. Si potrebbe pensare anche di sfruttare il soffitto per installare dei pannelli porosi in fibra di vetro o minerale, bachelizzata, in funzione dello spessore e del montaggio su listelli con un coefficiente di assorbimento per le frequenze di 250 e 500 Hz che oscilla da 0.40 a 0.90 $\alpha$ . I valori di T60 registrati nella mensa sono osservabili nel seguente grafico:



Dalle misurazioni effettuate sono emersi dei valori assolutamente accettabili, giustificati dalla presenza di controsoffitto in materiale poroso tale da garantire un sufficiente assorbimento delle onde sonore. Anche in

questo caso soltanto per le basse frequenze i valori sono leggermente elevati; si potrebbero quindi installare tube trap precedentemente descritti.

## CONCLUSIONI

Il rumore nelle scuole, qualificabili a tutti gli effetti “luoghi di lavoro”, può essere causa di “discomfort” ovvero di una condizione o situazione sgradevole per coloro che operano al loro interno. Nel caso specifico degli ambienti scolastici, il rumore può avere origini interne ed origini esterne. Per rumore interno si intende solitamente quello prodotto dagli alunni nel corso dello svolgimento delle attività didattiche, oltre a quello generato dai sistemi di riscaldamento, ventilazione. Per rumore esterno, invece, si fa riferimento a quello proveniente dal traffico urbano, aereo, ferroviario. A tal proposito, stando alle norme relative alla pianificazione acustica del territorio, i complessi scolastici meriterebbero l'appartenenza alle aree particolarmente protette (Classe I) con un valore massimo di immissione pari a 50dB(A) (DPCM 14/11/97). Purtroppo molte realtà sono oggi distanti da questo obiettivo. Anche per quanto riguarda il problema delle prestazioni acustiche degli edifici, nella maggior parte dei casi le norme che disciplinano questo ambito sono frequentemente disattese.

Il rumore è noto per i suoi effetti uditivi ed extrauditivi e proprio quest'ultimi mostrano una miriade di sfaccettature. Infatti il rumore influenza negativamente le prestazioni di coloro che sono impegnati in compiti cognitivi in particolare lavoratori e bambini. Le funzioni cognitive maggiormente compromesse dal rumore sono la lettura, l'attenzione percettiva, la memorizzazione. Gli allievi, in particolare delle scuole materne e primarie, accumulano deficienze nell'ambito della lettura, impiegano un tempo maggiore per affrontare e dare risposte a problemi o a quesiti di accertamento della maturità cognitiva, pertanto sviluppano spesso un atteggiamento passivo.

L'attività principale che può essere pregiudicata dagli aspetti acustici (in particolare il tempo di riverberazione T60) delle scuole, è la comunicazione verbale tra docenti e discenti definibile in termini di perdita di intelligibilità, ovvero dell'abbassamento della percentuale di parole correttamente intese

da un ascoltatore rispetto alla totalità delle parole pronunciate dal parlatore. Tale proprietà è legata al rapporto segnale rumore, nel senso che l'intensità della voce dell'oratore che giunge all'ascoltatore deve essere più alta di quella del rumore concomitante. Nelle aule, in particolare, come reazione spontanea al rumore di fondo, causato ad esempio dal chiacchiericcio o dal movimento degli arredi (sedie, banchi) che rappresenta a prescindere fattore di stress, l'insegnante è portata a mantenere l'intensità della voce di ca. 15 dB superiore al rumore. Conseguentemente a ciò si verifica un aumento della frequenza fondamentale che si traduce in un comportamento vocale ipercinetico (sforzo vocale cronico). Con il trascorrere del tempo l'ipercinesia fonatoria diventa responsabile di alterazioni della voce, disfunzionali prima e secondariamente associate ad un danno organico delle corde vocali (es. noduli). È evidente che tutti coloro che svolgono un'attività che presuppone uno sforzo vocale, siano più soggetti a riscontrare malattie del medesimo apparato. Relativamente al fenomeno delle malattie professionali del personale docente, nell'anno 2007 sono state riconosciute 15 malattie professionali a carico della laringe. Per quanto riguarda l'ipoacusia da rumore, ci troviamo di fronte ad una situazione diversa in quanto tale patologia di norma non si può associare ai livelli di rumore solitamente presenti nelle aule scolastiche. I dati di letteratura ci insegnano che una eventuale ipoacusia a carico del personale docente potrebbe essere oggetto di tutela dell'INAIL solo dopo aver appurato che la durata, l'intensità del rumore superino i livelli ritenuti idonei dalla normativa e tali da sviluppare un danno all'udito.

Nel mio studio oltre a trattare tematiche di carattere generale sopra accennate ho potuto procedere alla rilevazione sul campo, per mezzo di un fonometro integratore, dei seguenti parametri: il livello sonoro continuo equivalente (Leq) corrispondente all'intensità media integrata nel tempo di un rumore al quale sono esposti i lavoratori durante un turno di lavoro e il tempo di riverberazione (T60) parametro che definisce la qualità acustica di un ambiente.

A seguito di alcune interviste al personale docente ho potuto appurare che una giornata lavorativa è composta mediamente da 4 ore. Conseguentemente a ciò e sulla base dei Leq registrati nel corso di svariate attività didattiche e ricreative, ho proceduto al calcolo del Lex non sulle canoniche 8 ore lavorative bensì sulle 4 ore. I dati rilevati mostrano che un insegnante è esposto ad una rumorosità giornaliera compresa tra 79 dB(A) e 82.1dB(A). La normativa italiana ha stabilito un livello massimo di rumore di fondo nelle aule scolastiche di 35-45 dB(A) ma tali valori vengono comunemente superati, infatti i dati rilevati nel corso della mia esperienza confermano quanto asserito dalla letteratura. Se confrontiamo i livelli di esposizione al rumore a cui sono sottoposti gli insegnanti delle scuole oggetto di studio con quelli fissati dal DLgs 81/08, si evidenzia un superamento del valore limite di azione, il che comporta per il datore di lavoro l'elaborazione e l'applicazione di un programma di misure tecniche e organizzative volte a ridurre al minimo l'esposizione.

Va precisato che in tutti e 3 i casi gli istituti scolastici, sono ubicati in zone tranquille lontane da un eccessivo traffico veicolare. Di conseguenza si deve escludere una eventuale influenza del rumore esterno sui Leq registrati dal fonometro.

Relativamente al problema del tempo di riverberazione sono emerse due situazioni molto distanti tra le scuole primarie. Nell'edificio scolastico "G. Mameli" sono stati registrati dei valori T60 molto lontani da quelli consigliati dalla normativa. È importante ricordare che la normativa italiana stabilisce un livello massimo di riverbero nelle aule scolastiche di 0.4-0.6 s, mentre l'OMS definisce come valore ottimale di T60 0.6 s. La motivazione che mi ha spinto ha concentrare l'attenzione sullo studio del tempo di riverberazione, è legata al fatto che un'acustica non ottimale nelle aule scolastiche rappresenta la causa principale della ridotta percezione della voce degli insegnanti da parte degli studenti e quindi della comprensione del parlato con conseguente perdita di concentrazione.

Nella scuola “Karol Wojtyła” sia nelle aule che nella palestra e nella mensa, sono emersi dei tempi di riverberazione indubbiamente accettabili che con piccoli accorgimenti, possono essere migliorati ulteriormente. Da una semplice analisi comparativa delle condizioni acustiche dei due edifici d’istruzione primaria emerge chiaramente una notevole differenza. Quanto asserito trova giustificazione, in parte nelle diverse condizioni geometriche e strutturali degli ambienti, ma ancor di più nel fatto che alcuni locali (mensa e palestra) dell’edificio “Karol Wojtyła” sono stati sottoposti a degli interventi migliorativi delle condizioni acustiche, che seppur non hanno garantito la risoluzione del problema hanno consentito una sufficiente riduzione del tempo di riverberazione.

Discorso a parte merita lo studio effettuato presso la palestra del Liceo “Falcone Borsellino” dove, relativamente al problema dell’esposizione al rumore giornaliera (81.3 dB(A)) e settimanale (80.8 dB(A)), si è registrato un superamento dei livelli inferiori di azione; a tal proposito restano valide le considerazioni precedentemente enunciate. Da un confronto con i dati di letteratura emerge una situazione complessa relativamente ai valori del tempo di riverberazione. La presente palestra è normalmente utilizzata per lo svolgimento di attività sportiva (pallavolo, calcio) ma è adibita anche a sala riunioni in occasione di assemblee incontri con autorità, seminari, quindi necessita di un intervento di correzione acustica. Con i suggerimenti precedentemente indicati, detto locale potrà acquisire valori di T60 sicuramente più accettabili e conciliabili con le funzioni per le quali l’ambiente viene effettivamente utilizzato.

Dallo studio e dalle indagini svolte ho potuto appurare che il rischio rumore nelle scuole è ancora non sufficientemente preso in considerazione.

In conclusione appare auspicabile che, monitoraggi del rumore in ambienti scolastici siano effettuati con maggior frequenza, al fine di adottare idonee iniziative tese ad assicurare il benessere acustico, contenendo così anche il correlato impegno vocale dei docenti e i ben noti effetti extrauditivi del rumore.

### **Ringraziamenti**

Si ringrazia il relatore Prof. Luigi Barbato per la partecipazione all'elaborazione e alla stesura della tesi di laurea.

Si ringraziano, inoltre, per la disponibilità e la collaborazione prestata i Dirigenti Scolastici: la Prof. Manuela Cenciarini del Liceo Scientifico "Falcone Borsellino" di Zagarolo, il Prof. Marcello Grippo dell'Istituto Comprensivo "Goffredo Mameli" e la Prof. Manuela Scandurra dell'Istituto comprensivo "Karol Wojtyla" di Palestrina; Il Sign. Perocchi in qualità di RSPP dell'Istituto Comprensivo "Goffredo Mameli" e del Liceo Scientifico "Falcone Borsellino" e i Docenti dei suddetti Istituti.

## ALLEGATI

Tempi di riverberazione dei locali scolastici

Allegato N1 **Palestra Zagarolo**XL2 RT60 Reporting:

MyProject\ZAGAROLO``@\_RT60\_000\_Report.txt

-----

### # Hardware Configuration

Device Info: XL2, SNo. A2A-05387-E0, FW2.32

Mic Type: NTi Audio M2210, S/N: 1946, User calibrated

2012-10-01 17:39

Mic Sensitivity: 21.9 mV/Pa

### # Measurement Setup

Profile: Full mode

Resolution: 1/1 Octave

Range: 30 - 130 dB

### # Time

Start: 2012-10-03, 10:35:06

End: 2012-10-03, 10:36:46

### # RT60 Average Results

Band	T20	MeasUnct
[Hz]	[s]	[%]
63	-.--	-.--
125	2.86	-.--
250	4.60	-.--
500	12.10	-.--
1000	2.22	-.--
2000	5.46	-.--
4000	8.07	-.--
8000	2.77	1.34

Allegato N2

**Sala mensa (B)** XL2 RT60 Reporting:

MyProject\ r{0\_RT60\_000\_Report.txt

-----

# Hardware Configuration

Device Info: XL2, SNo. A2A-05387-E0, FW2.32

Mic Type: NTi Audio M2210, S/N: 1946, User calibrated

2012-10-01 17:39

Mic Sensitivity: 21.9 mV/Pa

# Measurement Setup

Profile: Full mode

Resolution: 1/1 Octave

Range: 30 - 130 dB

# Time

Start: 2012-10-03, 12:51:00

End: 2012-10-03, 12:51:47

# RT60 Average Results

Band	T20	MeasUnct
[Hz]	[s]	[%]
63	-.--	-.--
125	2.30	-.--
250	3.25	-.--
500	4.16	-.--
1000	5.20	-.--
2000	5.64	-.--
4000	3.95	-.--
8000	0.59	-.--

**Sala mensa (A)XL2 RT60 Reporting:**

MyProject\ {0\_RT60\_001\_Report.txt

-----

# Hardware Configuration

Device Info: XL2, SNo. A2A-05387-E0, FW2.32

Mic Type: NTi Audio M2210, S/N: 1946, User calibrated

2012-10-01 17:39

Mic Sensitivity: 21.9 mV/Pa

# Measurement Setup

Profile: Full mode

Resolution: 1/1 Octave

Range: 30 - 130 dB

# Time

Start: 2012-10-03, 12:55:34

End: 2012-10-03, 12:55:44

# RT60 Average Results

Band	T20	MeasUnct
[Hz]	[s]	[%]
63	-.--	-.--
125	0.70	-.--
250	1.05	-.--
500	1.32	-.--
1000	1.45	-.--
2000	0.97	-.--
4000	0.67	-.--
8000	0.48	-.--

Allegato N3

**Aula 5C** XL2 RT60 Reporting:

MyProject\ @\_RT60\_002\_Report.txt

-----

# Hardware Configuration

Device Info: XL2, SNo. A2A-05387-E0, FW2.32

Mic Type: NTi Audio M2210, S/N: 1946, User calibrated

2012-10-01 17:39

Mic Sensitivity: 21.9 mV/Pa

# Measurement Setup

Profile: Full mode

Resolution: 1/1 Octave

Range: 30 - 130 dB

# Time

Start: 2012-10-03, 12:14:32

End: 2012-10-03, 12:16:53

# RT60 Average Results

Band	T20	MeasUnct
[Hz]	[s]	[%]
63	-.--	-.--
125	0.80	-.--
250	1.25	-.--
500	2.00	-.--
1000	1.41	-.--
2000	2.55	-.--
4000	0.90	-.--
8000	0.79	-.--

Allegato N4

**Aula 4A** XL2 RT60 Reporting:

MyProject\2r\0\_RT60\_001\_Report.txt

-----

# Hardware Configuration

Device Info: XL2, SNo. A2A-05387-E0, FW2.32

Mic Type: NTi Audio M2210, S/N: 1946, User calibrated

2012-10-01 17:39

Mic Sensitivity: 21.9 mV/Pa

# Measurement Setup

Profile: Full mode

Resolution: 1/1 Octave

Range: 30 - 130 dB

# Time

Start: 2012-10-03, 13:49:02

End: 2012-10-03, 13:49:19

# RT60 Average Results

Band	T20	MeasUnct
[Hz]	[s]	[%]
63	-.--	-.--
125	2.09	-.--
250	3.25	-.--
500	5.20	-.--
1000	5.37	-.--
2000	4.96	-.--
4000	3.89	-.--
8000	0.89	3.01

Allegato N5

**Aula1N** XL2 RT60 Reporting:

MyProject\ \_RT60\_000\_Report.txt

-----

# Hardware Configuration

Device Info: XL2, SNo. A2A-05387-E0, FW2.32

Mic Type: NTi Audio M2210, S/N: 1946, User calibrated

2012-10-01 17:39

Mic Sensitivity: 21.9 mV/Pa

# Measurement Setup

Profile: Full mode

Resolution: 1/1 Octave

Range: 30 - 130 dB

# Time

Start: 2012-10-25, 10:01:36

End: 2012-10-25, 10:04:01

# RT60 Average Results

Band	T20	MeasUnct
[Hz]	[s]	[%]
63	---	---
125	0.87	---
250	0.59	---
500	1.29	8.65
1000	1.58	4.52
2000	1.52	3.56
4000	0.41	---
8000	0.36	---

Allegato N6

**Aula1M** XL2 RT60 Reporting:

MyProject\ \_RT60\_000\_Report.txt

-----

# Hardware Configuration

Device Info: XL2, SNo. A2A-05387-E0, FW2.32

Mic Type: NTi Audio M2210, S/N: 1946, User calibrated

2012-10-01 17:39

Mic Sensitivity: 21.9 mV/Pa

# Measurement Setup

Profile: Full mode

Resolution: 1/1 Octave

Range: 30 - 130 dB

# Time

Start: 2012-10-25, 10:21:54

End: 2012-10-25, 10:22:13

# RT60 Average Results

Band	T20	MeasUnct
[Hz]	[s]	[%]
63	0.79	-.--
125	0.80	-.--
250	0.73	-.--
500	0.54	-.--
1000	0.48	-.--
2000	0.46	-.--
4000	0.42	-.--
8000	0.38	-.--

Allegato N7

**Palestra “Karol Wojtyła” XL2 RT60 Reporting:**

MyProject\AL\_RT60\_000\_Report.txt

-----

# Hardware Configuration

Device Info: XL2, SNo. A2A-05387-E0, FW2.32

Mic Type: NTi Audio M2210, S/N: 1946, User calibrated

2012-10-01 17:39

Mic Sensitivity: 21.9 mV/Pa

# Measurement Setup

Profile: Full mode

Resolution: 1/1 Octave

Range: 30 - 130 dB

# Time

Start: 2012-10-25, 11:03:12

End: 2012-10-25, 11:06:20

# RT60 Average Results

Band	T20	MeasUnct
[Hz]	[s]	[%]
63	-.--	-.--
125	5.94	-.--
250	3.61	-.--
500	2.54	-.--
1000	2.02	-.--
2000	1.84	-.--
4000	1.19	3.68
8000	0.44	4.27

Allegato N8

**Mensa “Karol Wojtyła”** XL2 RT60 Reporting: MyProject\  
\_RT60\_000\_Report.txt

-----  
# Hardware Configuration

Device Info: XL2, SNo. A2A-05387-E0, FW2.32

Mic Type: NTi Audio M2210, S/N: 1946, User calibrated

2012-10-01 17:39

Mic Sensitivity: 21.9 mV/Pa

# Measurement Setup

Profile: Full mode

Resolution: 1/1 Octave

Range: 30 - 130 dB

# Time

Start: 2012-10-25, 10:21:54

End: 2012-10-25, 10:22:13

# RT60 Average Results

Band	T20	MeasUnct
[Hz]	[s]	[%]
63	-.--	-.--
125	1.05	-.--
250	0.89	-.--
500	0.51	-.--
1000	0.44	-.--
2000	0.27	-.--
4000	0.22	-.--
8000	0.22	-.--

**Tabela B1.1: Materiali fonoassorbenti reperibili sul mercato**

Tipi e Spessori		MATERIALI CELLULARI										Impieghi		Note	
		Proprietà Acustiche					Proprietà Fisiche			Test	Densità Kg/m <sup>3</sup>	Reazione al fuoco	Campi di Applicazione		Modalità di applicazione
		Coefficiente di Assorbimento Acustico $\alpha$ Frequenze (Hz)													
mm		125	250	500	1000	2000	4000								
<b>Poliuretani</b> 	20	0,10	0,20	0,30	0,50	0,70	1,00	DIN52212	30/60	CL2/CL1	Industria Edilizia Interni	Collanti Autoadesivi Fissaggi			
	30	0,15	0,30	0,50	0,80	0,95	1,00								
	30	0,10	0,15	0,48	0,80	0,85	0,85								
	50	0,15	0,30	0,55	0,85	0,95	0,90								
	100	0,10	0,50	0,90	1,05	1,00	1,05								
<b>Elastomeri</b> 	70	0,10	0,30	0,60	1,05	1,10	1,00	DIN52212	30/60	CL2/CL1	Industria Edilizia Interni	Collanti Autoadesivi Fissaggi			
	100	0,10	0,55	0,90	1,10	1,00	1,10								
	500*	0,20	0,40	0,75	1,15	1,15	1,20								
<b>bagnati (rotoli/lastre)</b> 	600*	0,20	0,40	0,60	0,85	0,90	1,00	DIN52212	35	CL2	Industria	Sospensioni	*Interasse. Distanza tra i pannelli = mm100. Dimensioni = mm 1000x500.		
	850*	0,15	0,20	0,40	0,65	0,75	0,80								
	Riciclabile-Traspirabile-No fibrogene-No gocciolamenti da fuoco														
<b>liscio (lastre)</b> 	20	0,20	0,30	0,75	0,70	0,70	0,75	DIN52212	120	CL1	Industria Edilizia Interni	Collanti In appoggio			

segue Tabella B1.1

Melaminici	mm	Atossici-No fibrogeni-No gocciolamenti da fuoco										Collanti, Autoadesivi	Collanti
		0,10	0,25	0,55	0,75	0,80	0,90	0,90	0,95	CL1	Industria Edilizia Interni		
	20	0,10	0,25	0,55	0,75	0,80	0,90	DIN52212	15	CL1	Industria Edilizia Interni	Collanti, Autoadesivi	
	30	0,12	0,30	0,65	0,85	0,90	0,95						
	30	0,10	0,15	0,48	0,80	0,85	0,85						
	50	0,15	0,30	0,55	0,85	0,95	0,90	DIN52212	15	CL1	Industria Edilizia Interni	Collanti	
	70/100										Industria Edilizia Interni	Collanti	

segue MATERIALI CELLULARI													
Tipi e Spessori	mm	Proprietà Acustiche						Test	Proprietà Fisiche	Reazione al fuoco	Campi di Applicazione	Modalità di applicazione	Note
		Coefficiente di Assorbimento Acustico $\alpha$											
		125	250	500	1000	2000	4000						
segue Melaminici		Atossici - No fibrogeni - No gocciolamenti da fuoco											
	500*	0,25	0,45	0,75	1,20	1,25	1,25	DIN52212	15	CL1	Industria	Sospensioni	*Interasse. Distanza tra i pannelli = mm100. Dimensioni = mm 1200x600.
	600*	0,20	0,40	0,70	1,00	1,05	1,10						
	850*	0,15	0,30	0,50	0,70	0,85	0,85						



segue Tabella B1.1

Poliestere		FIBROSI																
		Atossico-No fibrogeno-Inalterabile																
	mm	15	0,10	0,25	0,40	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	Posa libera In appoggio Collanti	Industria Edilizia Interni	15 30 55	CL1	*Protezione con membrana in P. V. C. tesa e perforata in % della superficie.
		20	0,15	0,30	0,50	0,65	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75					
		40	0,20	0,40	0,55	0,70	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80					
	mm	10	0,05	0,08	0,10	0,10	0,15	0,30	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	Buona resistenza meccanica e a vibrazioni e umidità.	Industria Edilizia	40~60	n.d.	*Distanziamenti da parete. **Distanziamento + strato assorbente s=10mm
		20	0,10	0,10	0,20	0,40	0,80	0,80	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95					
		10 - *1,6%	0,01	0,10	0,40	0,70	0,80	0,80	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65					
		10 - *4%	0,01	0,15	0,40	0,80	0,75	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40					
		20 - *1,6%	0,05	0,20	0,60	0,85	0,75	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55					
20 - *4%	0,10	0,20	0,65	0,90	0,55	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35							
	mm	75*d=0	0,10	0,30	0,60	0,55	0,65	0,65	0,70	0,70	0,70	0,70	In camera riverberante con 7,2 m <sup>2</sup> di materiale in protezione.	Industria Edilizia	n.d.	CL1	*Interasse. Distanza tra i pannelli = mm (n.d.). Dimensioni = mm 1200x600x150.	
		75*d=100	0,15	0,50	0,80	0,70	0,65	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70						
		75**d=100	0,25	0,80	1,05	0,85	0,90	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95						0,95
elementi modulari. Baffles se assiemati e sospesi	n.d.*	0,25	0,45	0,70	0,75	0,85	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05						

segue Tabella BI.1

Tipi e Spessori		segue MATERIALI FIBROSI										Impieghi		Note
		Proprietà Acustiche					Proprietà Fisiche							
		Coefficiente di Assorbimento Acustico $\alpha$					Test	Densità Kg/m <sup>3</sup>	Reazione al fuoco	Campi di Applicazione	Modalità di applicazione			
125	250	500	1000	2000	4000									
Lana di vetro 	mm	0,50	0,75	0,85	0,90	0,95	1,00	Inodoro-Inalterabile-Inerte	CL M1	Industria Edilizia	Fissaggio In aderenza In appoggio	*velo di vetro superficiale **film P.V.C. faccia vista ***carta di alluminio perforata faccia vista		
	**20	0,65	0,80	0,95	1,00	1,00								
	**40	0,45	0,50	0,75	0,65	0,70	0,40							
	**80	0,55	0,90	0,75	0,75	0,60	0,40							
	***25	0,60	0,70	0,80	0,95	0,95	0,90							
***50	0,70	0,90	0,90	1,00	0,95	0,95								
Lana di roccia 	mm							Biosolubile-Inerte-Atossico-No cancerogeno	CL0	Industria Edilizia Navale	Fissaggio In aderenza In appoggio	*pannello semirigido tessuto protettivo e velo di vero antispolvero ** pannello rigido come sopra ***rotolo accoppiato a foglio alluminio retinato		
50*	0,14	0,67	0,86	0,97	0,86	0,81								
50**	0,18	0,84	0,86	0,89	0,82	0,84								
50***	0,13	0,66	0,89	0,94	0,83	0,81								
Cellulosa spray 	mm							Ritriciabile-Inerte-Atossico-No cancerogeno	CL1	Industria Edilizia Interni	Applicazione a spruzzo	*su rete o strutture metalliche		
25	0,08	0,29	0,75	0,98	0,93	0,95								
50	0,26	0,68	1,05	1,10	1,03	0,98								
Trattamento di pareti, soffitti e strutture	40*	0,36	0,89	1,26	1,07	1,01	1,00							

segue Tabella BI.1

Tipi e Spessori		MATERIALI MISTI										Impieghi		Note			
		Proprietà Acustiche					Proprietà Fisiche			Test	Densità Kg/m <sup>3</sup>				Reazione al fuoco	Campi di Applicazione	Modalità di applicazione
		Coefficiente di Assorbimento Acustico $\alpha$ Frequenze (Hz)															
		125	250	500	1000	2000	4000										
Polvere di legno pressata (MDF) Legante: collante Rivestimento: melaminico  lisci (lamelle perforate)	mm																
	16- $\phi$ =10	0,14	0,64	1,06	1,01	0,70	0,59										
	** $\phi$ =2,6%																
	16- $\phi$ =170	0,33	0,77	0,90	0,88	0,74	0,59										
	** $\phi$ =2,6%																
	16- $\phi$ =10	0,16	0,51	1,14	1,11	0,77	0,67										
** $\phi$ =3,12%																	
16- $\phi$ =200	0,34	0,83	0,90	0,99	0,72	0,59											
** $\phi$ =3,12%																	
16- $\phi$ =0	0,17	0,48	1,03	0,88	0,47	0,41											
** $\phi$ =47,5%																	
16- $\phi$ =170	0,65	0,94	0,94	0,73	0,51	0,43											
** $\phi$ =47,5%																	

segue Tabella B1.1

ALTRI MATERIALI													
		mm											
Argilla espansa Legante: calcestruzzo 	120-200*	0,15	0,55	0,90	0,75	0,80	0,85	ISO 354	1000 ÷ 1400	CL 0	Industria Edilizia Interni	Ancoraggio In aderenza Autoportanti	Inodoro-Inalterabile-Inerte Faccia vista personalizzabile *Blocchi 200x500 **Piastre 500x500
		0,10	0,45	0,90	0,75	0,60	0,55						
blocchi o piastre porosi Alluminio con forature semi- ellittiche e film assorbente posteriore 	mm												
coni acustici 	Ø = 830 h = 230	0,15	0,27	0,47	0,47	0,40	0,32	In sala di V=495 m <sup>3</sup> con 120 coni	n.d.	CL 0	Edilizia Interni	Fissaggio	Buona intelligibilità Ergonomicità. Asettico con FILMCOVER

**Tabella B1.2: Principali applicazioni dei materiali fonoassorbenti**

MATERIALI		Coefficients di assorbimento acustico $\alpha$					
		Frequenze (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
<b>Pareti</b>							
Con applicata lana di vetro o di roccia, secondo lo spessore e il peso proprio (min/max)		0,10/0,30	0,40/0,60	0,60/0,90	0,75/0,90	0,80/0,90	0,80/0,90
Con applicato feltro soffice, spessore da 1,2 a 5 cm (min/max)		0,02/0,25	0,04/0,35	0,10/0,60	0,20/0,85	0,55/0,90	0,90/0,90
Con applicato poliuretano espanso, densità 30 Kg/m <sup>3</sup>	Spessore 13 mm	== =	0,11	0,40	0,90	0,90	0,82
	Spessore 60 mm	== =	0,30	0,62	0,90	0,99	0,98
Con applicato sughero		== =	0,04	0,08	0,12	0,13	0,10
In muratura di mattoni o calcestruzzo grezzo, non intonacati		0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,08
In muratura o calcestruzzo, intonacati		0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
In muratura o calcestruzzo, con intonaco, spessore 2,5 cm, su cannette		0,15	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
In blocchi di calcestruzzo ruvidi e non verniciati		0,35	0,45	0,30	0,30	0,35	0,30
In blocchi di calcestruzzo verniciati		0,1	0,08	0,08	0,06	0,06	0,06
In cartongesso, spessore 12mm su montanti		0,3	0,15	0,10	0,07	0,07	0,07
In cartongesso, due strati spessi 16mm su montanti		0,2	0,12	0,10	0,07	0,07	0,07
Con intonaco acustico spruzzato, spessore 10 mm		0,05	0,20	0,40	0,60	0,60	0,50
Con intonaco acustico poroso, applicato e non verniciato, spessore 15 mm (min/max)		0,02/0,10	0,05/0,10	0,05/0,30	0,10/0,20	0,20/0,30	0,10/0,20
Con rivestimento di marmo lucidato o piastrelle smaltate		0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Con rivestimento con lastra di vetro, aderente a parete (min/max)		0,03/0,2	0,03/0,1	0,02/0,05	0,02/0,03	0,02/0,03	0,02/0,03
Con rivestimento di legno a pannelli di 6mm, su montanti		0,4	0,2	0,1	0,08	0,07	0,07
Con rivestimento di legno a pannelli perforati, (fori ca 10% area pannello), con 5 cm di fibra di vetro nell'intercapedine		0,4	0,8	0,8	0,5	0,4	0,4
Con rivestimento di legno compensato, spessore 7 mm, con materiale poroso posteriore		0,5	0,25	0,15	0,05	0,05	0,10
Con rivestimento di legno, spessore 16 mm, con materiale poroso posteriore		0,35	0,20	0,10	0,05	0,05	0,10
Con rivestimenti di legno, spessore 16 mm, senza materiale poroso posteriore		0,20	0,10	0,05	0,05	0,05	0,10
Con tendaggi leggeri (350g/m <sup>2</sup> ) tesi sulla parete		0,10	0,15	0,15	0,20	0,25	0,35
Con tendaggi di medio peso (500g/m <sup>2</sup> ) drappeggiati a metà superficie		0,20	0,30	0,50	0,75	0,70	0,60
Con tendaggi pesanti (>600g/m <sup>2</sup> ) drappeggiati a metà superficie		0,25	0,40	0,55	0,80	0,80	0,65
Tendaggi di velluto sottile poco drappeggiati		0,08	0,30	0,50	0,50	0,60	0,20
Tendaggi di velluto pesante fortemente drappeggiati		0,50	0,50	0,70	0,90	0,90	0,90
Finestra vetrata chiusa (min/max)		0,10/0,35	0,04/0,25	0,03/0,18	0,02/0,12	0,02/0,06	0,02/0,04
Vetrata con lastra di medio spessore (finestra acustica)		0,15	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Bocche di ventilazione, e simili		0,15	0,20	0,30	0,35	0,30	0,20

segue Tabella B1.2

MATERIALI	Coefficienti di assorbimento acustico $\alpha$						
	Frequenze (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	
<b>Pavimenti</b>							
Di marmo, piastrelle smaltate, calcestruzzo liscio o alla veneziana.	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	
Di parquet in legno, plastificato o lucidato (su solaio rigido)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
Di legno, su listelli (min/max)	0,16/0,20	0,10/0,15	0,10/0,12	0,05/0,10	0,05/0,10	0,05/0,10	
Di linoleum (min/max)	0,02/==	0,02/0,10	0,03/0,10	0,03/0,09	0,04/0,10	0,04/0,12	
Di gomma	0,04	0,04	0,06	0,06	0,08	0,08	
Di moquette per interni ed esterni	0,10	0,10	0,20	0,30	0,45	0,65	
Di moquette pesante su calcestruzzo	0,10	0,10	0,25	0,40	0,60	0,65	
Di moquette pesante su imbottitura	0,15	0,25	0,60	0,65	0,65	0,60	
Tappeto spessore sottile	0,05	0,10	0,15	0,20	0,20	0,20	
Tappeto spessore medio	0,05	0,08	0,20	0,30	0,35	0,40	
Tappeto pesante	0,10	0,20	0,25	0,30	0,30	0,30	
<b>Soffitti</b>							
Sospesi di cartongesso liscio in funzione dello spessore e della distanza dal solaio (min/max)	0,10/0,30	0,08/0,20	0,05/0,10	0,05/0,07	0,04/0,07	0,04/0,07	
Trattati con intonaco, spessore 25 mm, su cannette	0,15	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	
Trattati con schiuma a spruzzo, spessore 12 mm, su superficie dura	0,08	0,15	0,45	0,85	0,95	0,95	
Trattati con schiuma a spruzzo, spessore 25 mm, su superficie dura	0,12	0,35	0,85	0,95	0,95	0,95	
Con piastrelle minerali fissate in aderenza	0,20	0,30	0,40	0,45	0,50	0,50	
<b>Pannelli a parete o a soffitto</b>							
In fibra di vetro, spessore 25 mm con rivestimento in tessuto a maglia larga	0,25	0,55	0,75	0,95	0,95	0,90	
Porosi in fibra di vetro o minerale, bachelizzata, in funzione dello spessore e del montaggio su listelli (min/max)	0,40/0,60	0,40/0,85	0,60/0,90	0,75/0,99	0,80/0,99	0,80/0,95	
Porosi in fibra di legno, fissati direttamente sulla superficie	0,15	0,25	0,40	0,50	0,50	0,40	
Porosi in fibra di legno, su listelli	0,30	0,50	0,65	0,70	0,70	0,60	
Di legno o legno compensato, con intercapedine fra pannello e superficie, in funzione dello spessore del pannello e dell'intercapedine (min/max)	0,20/0,40	0,10/0,25	0,05/0,15	0,03/0,10	0,03/0,10	0,03/0,05	
In lana di legno mineralizzata, applicati a contatto con la superficie	Spessore 25 mm	==	0,10	0,30	0,70	0,50	0,50
	Spessore 35 mm	==	0,15	0,25	0,50	0,90	0,65
	Spessore 50 mm	==	0,25	0,65	0,60	0,55	0,90
Rigidi in gesso rivestito, spessore 13 mm, 18% area perforata, montati, dalla superficie, a:	58 mm	==	0,40	0,63	0,82	0,64	0,43
	200 mm	==	0,75	0,78	0,64	0,60	0,58
Di lamierino in alluminio in strisce sagomate, forato per il 15% dell'area, con lana minerale posteriore	0,50	0,75	0,75	0,85	0,75	0,70	
Di metallo perforato con materiale poroso posteriore	0,30	0,60	0,85	0,85	0,80	0,70	
Appesi verticalmente (baffles), in fibra di vetro o minerale, con superficie (una sola faccia) uguale a quella del soffitto	0,20	0,30	0,65	0,99	0,99	0,95	

segue Tabella B1.2

VARIE I		Coefficienti di assorbimento acustico $\alpha$					
		Frequenze (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Persona seduta o in piedi		0,15	0,30	0,50	0,55	0,60	0,50
Orchestra con strumenti su di un podio; per ogni persona		0,40	0,80	1,0	1,40	1,30	1,20
Sedili non occupati	di legno o di metallo	0,15	0,20	0,30	0,40	0,40	0,30
	imbottiti e ricoperti di velluto	0,25	0,50	0,60	0,70	0,70	0,60
	imbottiti e ricoperti in pelle	0,35	0,50	0,60	0,60	0,60	0,50
Sedili occupati	di legno o di metallo	0,30	0,40	0,60	0,80	0,85	0,85
Pubblico seduto su sedili imbottiti e ricoperti in pelle		0,40	0,60	0,80	0,95	0,95	0,90
Arredamenti imbottiti (per ogni m <sup>2</sup> di pavimento o parete coperto)		0,60	0,75	0,85	0,90	0,80	0,80
VARIE II		Assorbimento $\alpha$ in dB/100 m					
		Frequenze (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Aria: 15 °C, 75% U.R.		0,03	0,07	0,16	0,38	0,85	2,0
Nebbia: 30 m visibilità		1,0	1,3	1,6	2,0	2,5	3,0
Erba: 10÷30 cm altezza		1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,6
Campi di grano, cespugli fitti, foresta poco fitta		3,5	5,0	7,0	10,0	14,0	20,0
Foresta fitta con sottobosco		7,0	10,0	14,0	20,0	28,0	40,0
Superficie d'acqua (piscina)		0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02

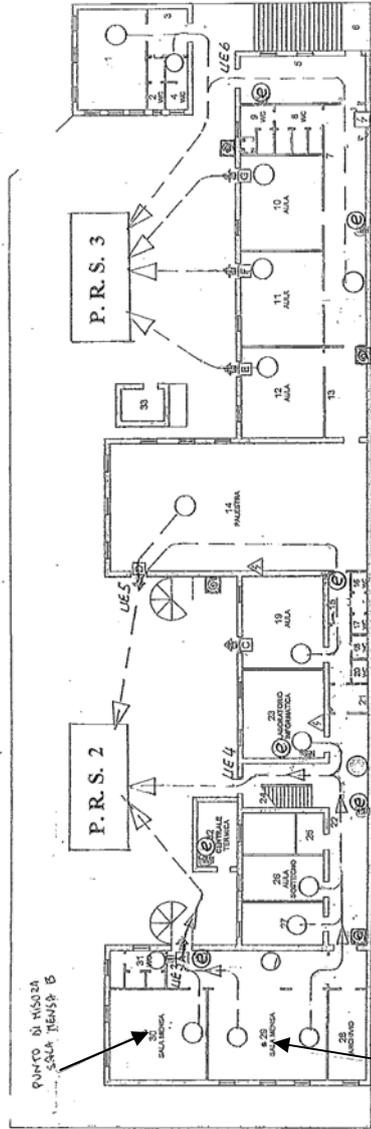


256° Circolo Didattico "G. Mameli" - Viale della Vittoria - Palestrina (Roma)  
 Plesso Scuola Primaria e dell'Infanzia - Viale della Vittoria - Palestrina (Roma)  
 PIANO SEMINTERRATO

SIAMO QUI

LOCALE

APRIFILA  
 CHUDIFILA



P.R.S. 1

- VIA DI USCITA DI EMERGENZA
- PUNTO DI USCITA DI EMERGENZA
- PULSANTE DI ALLARME
- ESTINTORE
- MANICHETTA ANTINCENDIO
- CASSETTA PRONTO SOCCORSO
- O.P.I. ANTINCENDIO
- QUADRO ELETRICO GENERALE
- QUADRO ELETRICO DI PIANO
- MANICOLA INTERCETTA

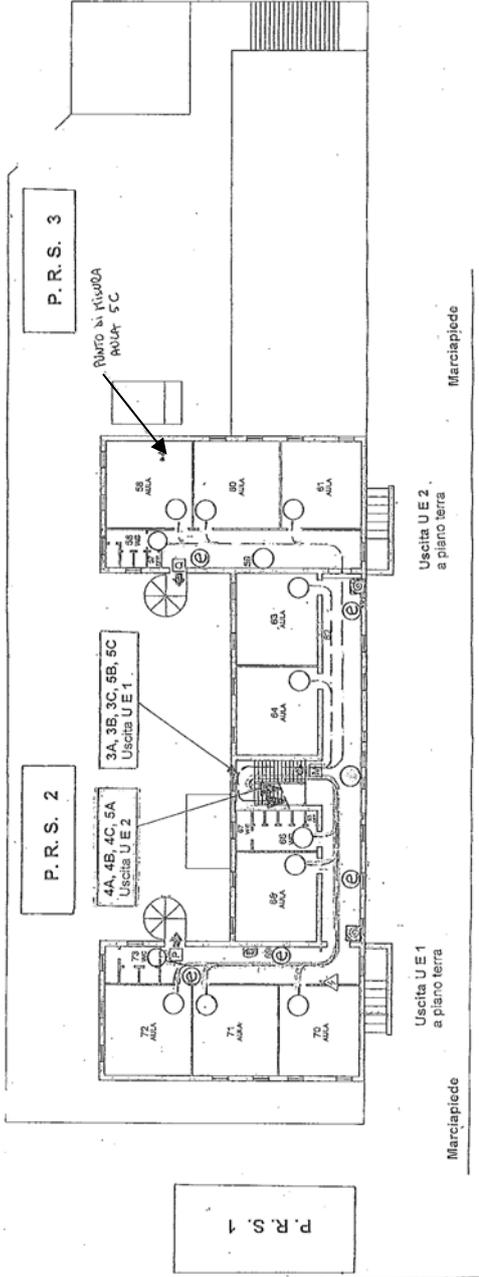
256° CIRCOLO DIDATTICO "G. MAMELI".  
 Scuola Primaria e dell'infanzia - Viale della Vittoria - Palestrina (Roma)  
 Piano Primo

LOCALE

Voi siete qui



APRIFILA  
 CHIUDIFILA



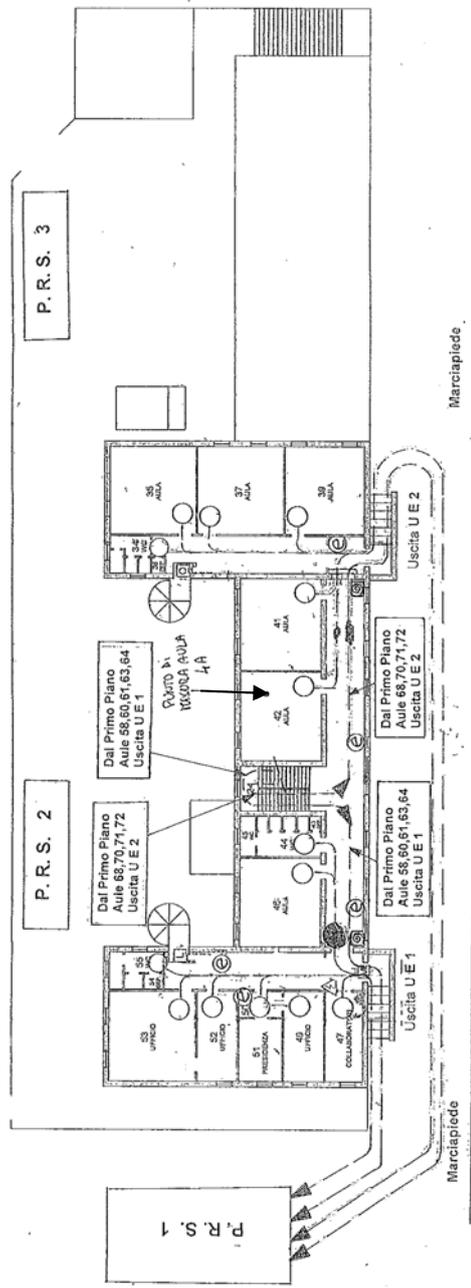
- VIA DI FUGA
- USCITA DI EMERGENZA
- PUNTO DI RACCOLTA
- PULSANTE DI ALLARME
- ESTINTORE
- MANICHETTA ANTINCENDIO
- CASSETTA DI SOCCORSO
- D.F.I. ANTINCENDIO
- QUADRO ELETTRICO GENERALE
- QUADRO ELETTRICO DI PIANO
- VALVOLA INTERCETTAZIONE

256° CIRCOLO DIDATTICO "G. MAMELLI".  
 Scuola Primaria e dell'infanzia - Viale della Vittoria - Palestrina (Roma)  
 Piano Terra

Voi siete qui

APRIFILA  
 CHIUDIFILA

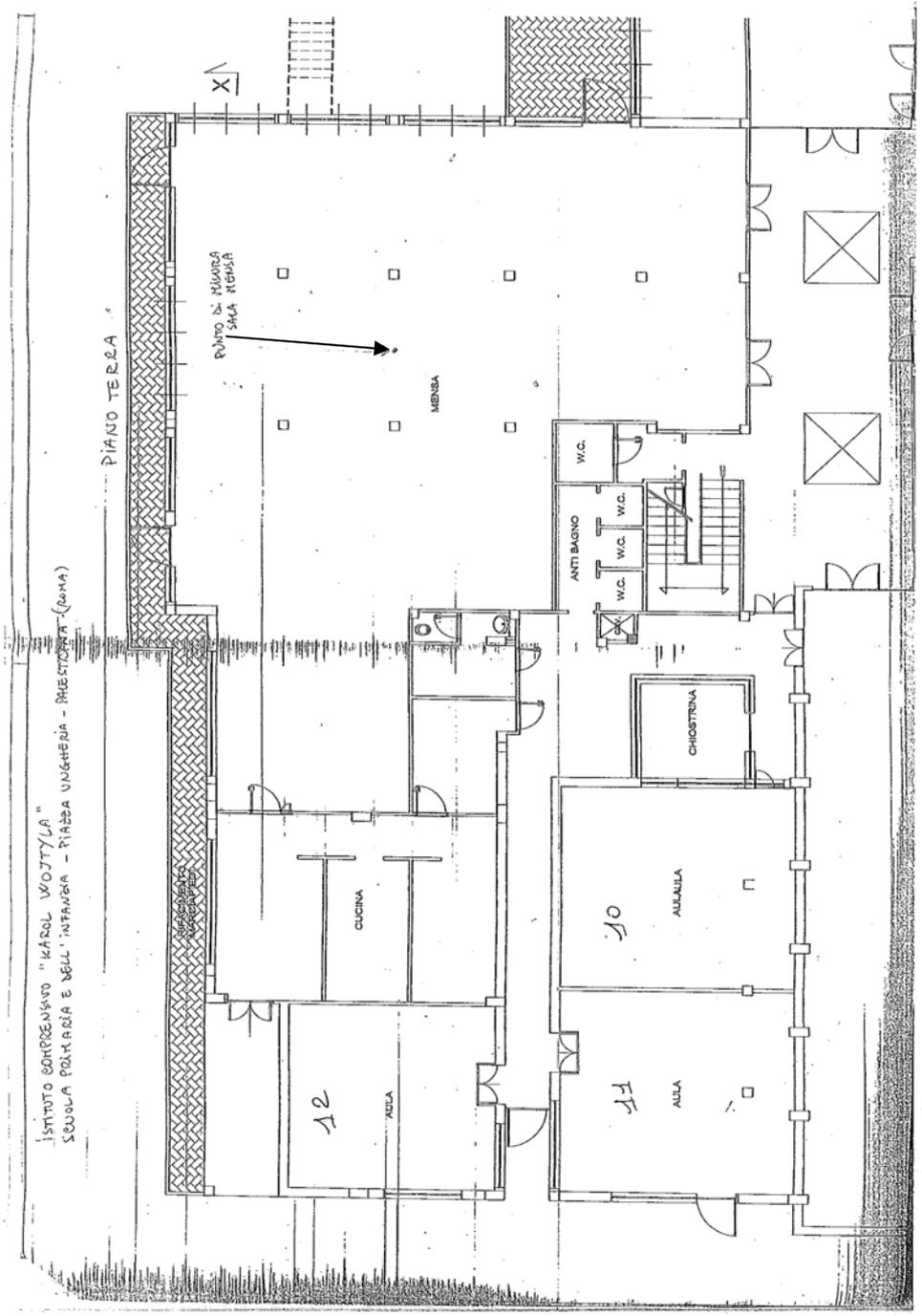
LOCULE



VIALE DELLA VITTORIA

- VIA DI FUGA
- USCITA DI EMERGENZA
- PUNTO DI RACCOLTA
- PULSANTE DI ALLARME
- ESTINTORE
- MANICHETTA ANTINCENDIO
- CASSETTA PRONTO SOCCORSO
- D.P.L. ANTINCENDIO
- QUADRO ELETTRICO GENERALE
- QUADRO ELETTRICO DI PIANO
- VALVOLA INTERCETTAZIONE





## BIBLIOGRAFIA

Martini, Bartholomew, *Elementi di Anatomia, Istologia e Fisiologia dell'uomo*, EdiSES 2007.

L.Alessio, P.Apostoli, *Manuale di medicina del lavoro e igiene industriale*; per Tecnici della Prevenzione, Piccin 2010.

G. Brambilla, P. Nataletti, A. Peretti, *Acustica e ambienti scolastici. La fatica di imparare nella scuola che cambia*, Saonara: arti grafiche padovane, Padova 2008.

A. Peretti, R. Pompoli, *Rumore e ambienti scolastici*, Arti grafiche padovane, Padova 1995.

M. Cosa, *Rumore e vibrazioni: effetti, valutazione e criteri di difesa*, Maggioli, Rimini 1990.

A Chiattella, Rumori molesti. *La qualità acustica delle aule scolastiche*, tratto da école n 72.

A. Astolfi, M. Giovannini, *Acustica delle aule scolastiche*. Requisiti prestazionali, soluzioni di progetto, verifiche a calcolo e in opera, Rockwool.

G. Discalzi, V. Accomazzo, M. Banchio, *Il rumore e le sostanze ototossiche. Lo stato delle conoscenze, le implicazioni operative* da G Ital Med Lav Erg Suppl, 126-129, PI-ME, Pavia 2011.

C. Ianniello, E. Marciano, *Discomfort acustico in ambienti confinati non industriali* da G Ital Med Lav Erg. PI-ME, Pavia 2004.

J. Nadalin, A. Astolfi, P. Bottalico, G. Riva, M. Garzaro, L. Raimondo, C. Giordano, *Effetto del rumore e della riverberazione sullo sforzo vocale degli insegnanti di scuola primaria* da G Ital Med Lav Erg. Suppl, 122-125, PI-ME, Pavia 2011.

Manuale di buona pratica “*Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro*” ISPESL 2009.

DLgs 9 aprile 2008 n. 81 Testo Unico per la Sicurezza.

Legge 26 ottobre del 1995 n. 447 *“Legge Quadro sull’Inquinamento Acustico”*.

DPCM 14/11/97 *“Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”*.

Circolare del Ministero LL. PP. n.3150 del 22 maggio 1967 *“Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici”*.

DM 18/12/75 *“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”*.