

**Collegio dei Geometri della Provincia di Modena
Associazione geometri liberi professionisti della Provincia di Modena**

***IL RUMORE E L'ACUSTICA NELLA
PROFESSIONE DEL GEOMETRA***

Patrizia Bertogli

**Mercoledì 27 Giugno 2007
Sala Convegni "Auditorium"
Presso Gruppo HERA
Modena, Via Cesare Razzaboni n. 80**

INDICE

1.	Introduzione	
1.1	<i>Cenni storici</i>	pag. 3
1.2	<i>Rumore e suono</i>	pag. 4
1.3	<i>Sorgenti di rumore</i>	pag. 5
1.4	<i>Classificazione dei diversi tipi di rumore</i>	pag. 6
1.5	<i>Effetti del rumore</i>	pag. 6
2	Fenomenologia e metrologia del rumore	
2.1	<i>Generazione del suono</i>	pag. 7
2.2	<i>Onde sonore</i>	pag. 8
2.3	<i>Livelli sonori e decibel</i>	pag. 8
2.4	<i>Frequenze , filtri, bande di frequenza</i>	pag. 9
2.5	<i>Sensazione acustica</i>	pag. 10
2.6	<i>Il livello continuo equivalente ,Leq</i>	pag. 11
2.7	<i>Valutazione del livello energetico medio e del disturbo provocato dal rumore</i>	pag. 11
3.	Sorgenti di rumore	
3.1	<i>Generalità</i>	pag. 12
3.2	<i>L'ambiente industriale</i>	pag. 13
3.3	<i>L'ambiente esterno</i>	pag. 13
3.4	<i>L'ambiente di riposo</i>	pag. 14
4.	Patologia da rumore	
4.1	<i>Decibel e sensazione sonora</i>	pag. 15
4.2	<i>Effetti uditivi ed extra -uditivi</i>	pag. 16
4.3	<i>Danno, disturbo e fastidio</i>	pag. 16
5.	Il rumore ambientale	pag. 17
6.	Il rumore in ambiente di lavoro	pag. 20
7.	L'ambiente abitativo	
7.1	<i>Il benessere acustico interno degli edifici</i>	pag. 21
7.2	<i>Assorbimento, riflessione e trasmissione dei suoni nelle strutture edilizie</i>	pag. 22
7.3	<i>Il progetto acustico delle strutture di confine per il controllo del rumore</i>	pag. 23
7.4	<i>Il potere fonoisolante R – rumori aerei provenienti dall'esterno degli ambienti disturbati</i>	pag. 24
7.5	<i>Previsione del potere fonoisolante R</i>	pag. 25
7.6	<i>Il potere fonoisolante dei serramenti</i>	pag. 26
7.7	<i>Rumore di calpestio, rumore trasmesso per via strutturale</i>	pag. 26
7.8	<i>Rumore degli impianti dell'edificio</i>	pag. 27
7.9	<i>Normativa tecnica acustica –edilizia</i>	pag. 28
8.	Il tecnico competente in acustica ambientale	pag. 30
9.	Sintesi riepilogativa	pag. 31

1. INTRODUZIONE

1.1 Cenni storici

L'inquinamento da rumore ha ormai assunto un peso sempre maggiore nella determinazione del mosaico multi casuale che caratterizza la cosiddetta "patologia del progresso".

Le indagini nei paesi industrializzati dimostrano che oltre 100 milioni di persone vivono in condizioni inaccettabili dal punto di vista acustico, mentre oltre 250 milioni di persone sono sottoposte ad impatti sonori il cui livello rende non confortevole il loro ambiente di vita.

Il progressivo incremento della motorizzazione, la spinta inarrestabile verso una sempre più estesa urbanizzazione del territorio, la spirale accrescitiva dell'industrializzazione, le tecniche ed i sistemi costruttivi che caratterizzano le attuali strutture edilizie, hanno ingigantito nelle nostre città la già considerevole potenzialità di danno legata al persistere, per tempi sempre più lunghi, di livelli di pressione sonora particolarmente elevati, e considerato l'incremento della rumorosità nelle aree urbane, l'inquinamento acustico si è diffuso non solo nello spazio, ma soprattutto nel tempo estendendosi anche nelle ore notturne, ai giorni festivi ed alla fascia temporale che interessa le attività ricreative.

L'inquinamento da rumore nell'ambiente di vita, da intendersi come immissione di rumore in aree abitative ed esterne, deve essere ben distinto per quanto attiene ai criteri di valutazione e di controllo dal rumore in ambiente di lavoro, in quanto, nel primo caso, è insito il concetto di immissione di rumore, da parte di sorgenti terze, in ambienti fruiti da gruppi indifferenziati di popolazione, che vengono in tal modo disturbati o danneggiati da cause non direttamente connesse con le attività svolte, nel secondo caso invece, l'esposizione al rumore dipende essenzialmente dall'attività produttiva effettuata nell'ambiente di lavoro ed il livello energetico di esposizione, per gruppi specifici di popolazione, è generalmente ben più elevato. Anche per quello che concerne la patologia prevalentemente connessa con le due differenti situazioni ambientali descritte, esiste una netta differenziazione in quanto, in ambiente di lavoro sono preminenti gli effetti di otesione, mentre in ambiente abitativo ed esterno sono di gran lunga più frequenti gli effetti extrauditivi del rumore.

Tra gli inquinamenti di tipo fisico, l'inquinamento dal rumore è quello che tende ad interessare percentuali di popolazione sempre maggiori: i suoi effetti lesivi, disturbanti o semplicemente fastidiosi, costituiscono un elemento di grande rilevanza nella determinazione delle condizioni di insalubrità ambientale.

La preoccupazione di ridurre, o quanto meno di svolgere opera di controllo , il fastidio procurato dal rumore è molto antica; a titolo di esempio a Sibari, nella Magna Grecia, seicento anni prima di Cristo, era proibito tenere galli che disturbassero il riposo notturno dei cittadini e gli artigiani che “lavoravano con il martello” o che, comunque, esercitavano mestieri particolarmente rumorosi erano obbligati a risiedere al di fuori delle mura urbane.

1.2 Rumore e suono

Il rumore viene comunemente identificato come un “suono non desiderato” o come una “sensazione uditiva sgradevole e fastidiosa o intollerabile” , definizioni queste , apparentemente imprecise, ma in realtà perfettamente rispondenti , in quanto il rumore ha, dal punto di vista fisico, caratteristiche che si sovrappongono e spesso si identificano con quelle del suono, al punto che un suono, gradevole per alcuni, può essere percepito da altri come un rumore fastidioso, così come, sono propri del rumore la disarmonia (intesa come mancanza di periodicità o come improvvise deformazioni dello schema primitivo delle onde sonore) o l’elevato livello energetico, o l’insorgenza improvvisa o ancora l’ampiezza e la rapidità delle variazioni di pressione sonora e di frequenza dell’onda incidente, tanto che restano a caratterizzare il rumore la sua particolare sgradevolezza e la sua difficile sopportabilità.

E’ quindi il carattere di disturbo e sofferenza , sottolineano i ricercatori, che accompagnando certi fenomeni sonori, li qualifica come rumori .

La definizione di rumore sopra riportata è integralmente accettata da chi si occupa di igiene, per contro non è ritenuta completamente soddisfacente se viene parametrata con i principi fisici .

In fisica è piuttosto difficile distinguere fra suoni e rumori, in quanto gli uni e gli altri, posseggono caratteristiche pressoché sovrapponibili.

Sia un suono che un rumore, infatti, possono essere descritti come un fenomeno periodico prodotto dall’apporto di energia meccanica che fa entrare in vibrazioni un mezzo (generalmente, ma non necessariamente, si tratta dell’aria).

Un suono, nella quasi totalità dei casi, deve essere più precisamente classificato come un fenomeno periodico complesso, costituito dalla somma di differenti fenomeni periodici semplici, ognuno dei quali è caratterizzato da una ben determinata frequenza di oscillazione.

Le più importanti grandezze fisiche che caratterizzano il suono sono costituite **dall’ampiezza** e dalla **frequenza** del fenomeno oscillatorio.

Per ulteriore distinzione tra suoni e rumori si può quindi concludere che i primi possiedono generalmente alcune caratteristiche fisiche che solitamente non si riscontrano negli altri.

Secondo determinati autori, si ha un suono quando il fenomeno vibratorio che lo origina mantiene il suo carattere periodico senza rapido smorzamento, e quando, decomponendo il fenomeno periodico complesso che rappresenta detto suono, nelle grandezze sinusoidali che lo costituiscono, a cui si dà notoriamente il nome di armoniche, si verifica il fatto che le frequenze delle armoniche principali sono rappresentate da numeri in rapporto semplice tra loro.

Man mano che le due condizioni suddette vengono meno, si passa gradatamente dal suono al rumore.

L'inquinamento da rumore riveste un interesse particolare: il rumore invade l'ambiente di lavoro, contribuendo all'instaurarsi della fatica, ovvero disturba le ore libere, ed è interferente con il riposo.

Per combatterne gli effetti lesivi o solamente irritanti, l'individuo è costretto ad un considerevole dispendio di energia nervosa con conseguenze dannose, non soltanto per quello che concerne la sua salute e le sue condizioni di benessere psicologico, ma anche per quello che riguarda il suo rendimento lavorativo in quanto il rumore viene considerato comunque come un fattore di insalubrità ambientale.

1.3. Sorgenti di rumore

Il rumore riconduce alla sua origine disturbante dannosa la presenza di differenti sorgenti che possono essere così identificate:

- 1) *Traffico veicolare.*
- 2) *Apparecchi di uso domestico ed attività umane*
- 3) *Impianti idraulici, termici, elettrici, ascensori, ecc. connessi con l'edificio abitativo*
- 4) *Laboratori artigiani*
- 5) *Traffico aereo*
- 6) *Industrie inserite nel contesto urbano o nelle immediate vicinanze di questo*
- 7) *Trasporti ferroviari*
- 8) *Altre sorgenti di rumore non incluse nel precedente elenco come, ad esempio, rumori generati da animali, da eventi meteorologici, dall'uso di campi di tiro, da macchine agricole, dal divertimento delle persone, dai locali pubblici, etc.*

1.4. Classificazione dei diversi tipi di rumore

Per meglio inquadrare il fenomeno rumore, anche in relazione al tipo di danno prodotto o potenziale, si ritiene opportuno proporre una classificazione dei vari tipi di rumore, i quali sommariamente possono essere classificati in :

- **continuo** : persiste senza interruzioni per tutto il tempo di osservazione
- **discontinuo** : subisce interruzioni di durata apprezzabile
- **a tempo parziale** : erogato per un tempo limitato

Ciascuno di questi può essere inoltre definito :

- **stazionario** : le fluttuazioni nell'intorno di un valore medio costante non subiscono alterazioni considerevoli
- **fluttuante** : le fluttuazioni subiscono alterazioni considerevoli
- **aleatorio**: presenta irregolarità nelle sue modalità di emissione , sia a livello temporale che spaziale

In funzione della particolarità o delle caratteristiche si identifica :

- **rumore impulsivo** : la durata complessiva è inferiore ad un secondo
- **rumore con tono puro** : caratterizzato da una singola frequenza

1.5 Effetti del rumore

E' ormai accettato il termine di " inquinamento acustico" per definire un fenomeno fisico capace di determinare nell'uomo molteplici effetti che sovente è difficile classificare con ordine e sistematicità.

Un particolare criterio di classificazione di questi effetti , basato sulla differente lesività degli effetti stessi ed in accordo con le proposte formulate dalla C.E.E., che sembra particolarmente efficace ed esauriente, è quello di distinguerli come segue:

- 1) *Effetti di tipo specifico a carico dell'apparato uditivo e di quello vestibolare;*
- 2) *Effetti neuro – endocrini e psicologici a carico del sistema nervoso centrale e periferico, del sistema neuro endocrino e delle psiche ;*
- 3) *Effetti di tipo psicosomatico a carico degli apparati cardiocircolatorio, digerente, respiratori, visivo e di quello genitale ;*
- 4) *Effetti di tipo psicosociale (sulla trasmissione e sulla comprensione della parola, sulla efficienza lavorativa, sul rendimento e sulla durata e qualità del sonno)*

5) *Sensazione generica di fastidio annoyance*

Per la migliore identificazione di quest'ultimo termine se ne riporta la definizione fornita dalla Commissione delle Comunità Europee che nella sua seduta tenuta a Lussemburgo il 18 e 19 novembre 1974 ha così definito tale tipo di disturbo derivante dall'inquinamento acustico, nel seguente modo :
“ si definisce fastidio un sentimento di scontentezza riferito al rumore che l'individuo sa o crede che possa agire su di lui in modo negativo. Questo fastidio è la risposta soggettiva agli effetti combinati dello stimolo disturbante e di altri fattori extra- esponenziali di natura psicologica, sociologica ed economica.”

Appare quindi evidente che è estremamente difficoltoso determinare direttamente il grado di annoyance, mentre riesce più agevole valutare in modo indiretto l'entità del “fastidio” in base alle reazioni che l'annoyance determina sulla comunità, ricorrendo ad indagini statistiche che correlino le situazioni specifiche di esposizione al rumore con il grado di reazione che esse provocano.

2. FENOMENOLOGIA E METROLOGIA DEL RUMORE

2.1 Generazione del suono

Il modo in cui i suoni vengono generati e si propagano può essere facilmente compreso attraverso l'osservazione di semplici fenomeni che fanno parte dell'esperienza quotidiana . Si consideri, ad esempio, un palloncino gonfiato con aria e appeso con un filo al soffitto di una stanza che esplose , un diapason che vibra, un martello che colpisce un metallo.

Nella vita comune e negli ambienti di lavoro, la maggior parte dei suoni che raggiungono l'orecchio contiene un numero infinito di frequenze componenti; tuttavia l'orecchio “normale” è sensibile solo a quelle che sono comprese tra circa 20 e 20.000 cicli al secondo. L'orecchio umano non percepisce né le componenti che sono al di sotto di questo intervallo (“infrasuoni”) né quelle al di sopra (“ultrasuoni”).

Se si definisce un suono come una “perturbazione che si propaga in un mezzo elastico con una velocità caratteristica di quel mezzo”, risulta evidente che lo stesso tipo di fenomeno che si verifica nel caso del palloncino e dell'aria può avvenire, con diversa velocità, in una sbarra di acciaio o in generale in qualsiasi mezzo elastico .

Per quanto elencato finora è presente una “sorgente” di suono o di rumore che provoca la perturbazione nel mezzo elastico ; quest'ultimo fornisce un “cammino” per la propagazione del suono (o meglio dell'energia sonora) , che alla fine raggiunge un “ricevitore”; il ricevitore può essere

l'orecchio di un individuo , un microfono o un pannello, che così viene sollecitato a vibrare. **La catena “ sorgente- cammino di propagazione- ricevitore” costituisce la base di qualsiasi analisi dei problemi di valutazione, controllo e prevenzione del rumore.**

Il suono è dunque un fenomeno ondulatorio, per mezzo del quale energia meccanica di vibrazione viene propagata attraverso mezzi elastici; suoni possono essere propagati nei gas, nei liquidi e nei solidi, ma non nel vuoto.

2.2. Onde sonore

Come si è già detto, un'onda sonora può essere vista come una perturbazione che si propaga attraverso un mezzo elastico, ad una velocità caratteristica del mezzo stesso.

Di conseguenza il suono ha delle caratteristiche sia spaziali che temporali che è utile descrivere mediante alcune grandezze fisiche, prima tra queste è **la pressione sonora** da intendersi come la variazione della pressione dal suo valore di equilibrio in assenza della perturbazione sonora, la quale varia in maniera regolare e periodica . Una successione completa di variazioni di pressione viene detta “ciclo”; il tempo T (in secondi) necessario per completare un ciclo viene detto “periodo” dell'oscillazione di pressione. La **frequenza** f è definita come il numero di cicli per unità di tempo (secondo), il suo valore è inversamente proporzionale al tempo T , viene espressa in “ cicli al secondo” o “Hertz” (Hz): come già accennato, le oscillazioni con frequenza compresa tra 20 e 20.000 Hz danno origine, nell'uomo, a sensazione sonora.

Il concetto di frequenza è particolarmente importante per lo studio del comportamento di un'onda sonora che incontra degli ostacoli sul suo cammino. Infatti l'efficienza di una barriera acustica, di un riflettore o di una superficie assorbente è maggiore nel caso in cui si debbano circoscrivere e attenuare componenti sonore ad alte frequenze ,che non in quello in cui le componenti siano a bassa frequenza .

Nella pratica della misura e del controllo di ambienti rumorosi risulta indispensabile fare uso anche di altri “ descrittori fisici” del suono: tra i quali il prevalente è **la pressione efficace** , che permette di caratterizzare con un solo valore le successive compressioni e rarefazioni associate con la propagazione dell'onda sonora. .

2.3. Livelli sonori e decibel

La potenza sonora associata ai fenomeni che l'orecchio umano può percepire varia in un campo di valori molto ampio. Ad un bisbiglio, cui è associata una potenza sonora dell'ordine del

microwatt, può corrispondere all'estremo opposto, il rumore emesso da un aereo a reazione, che raggiunge valori dell'ordine del megawatt. L'uso di una scala lineare, per esprimere la grandezze acustiche, potrebbe dunque comportare la necessità di avere a che fare con numeri estremamente grandi o piccoli, dispersi in un campo di escursione da 1 ad oltre 10^{12} .

Dalla constatazione di quanto sopra e dal comportamento dell'organo dell'udito, segue l'opportunità di fare uso di una scala logaritmica in cui, al valore della grandezza in esame, si faccia corrispondere il logaritmo del rapporto tra quello stesso valore ed un altro della stessa grandezza, prefissato quale "riferimento".

La scala di valutazione, così definita, esprime quindi il livello della grandezza considerata rispetto al valore di riferimento. Più esattamente, il livello di una grandezza acustica, espresso in **decibel (dB)** è uguale a 10 volte il logaritmo in base 10 del rapporto tra il valore di tale grandezza ed il corrispondente valore di riferimento. Il vantaggio che deriva dall'uso della nuova scala di valutazione consiste, oltre che nella compressione dei valori elevati a vantaggio di un maggior dettaglio di quelli inferiori, anche nella evidente riduzione del campo di variabilità; nell'esempio sopra citato, all'escursione in scala lineare da 1 a 10^{12} , corrisponde quella molto più ridotta, da 0 a 120 dB, in scala logaritmica. I valori di riferimento cui si è accennato in precedenza sono definiti in base alle valutazioni di tipo psicofisico e di opportunità. In particolare, la pressione sonora di riferimento viene assunta uguale a 20 μ Pa, corrispondente al valore di pressione sonora minimo mediamente percepibile alla frequenza di 1000 Hz.. Il dB in via generale, descrive in termini relativi e di guadagno, il valore del livello energetico posseduto da una certa grandezza fisica.

E' da notare che il dB, essendo definito come il rapporto fra due grandezze, prescinde dalle unità di misura delle grandezze stesse, il dB per poter assumere un valore reale, ha bisogno di un valore di riferimento, quindi **le misure espresse in decibel non forniscono valori assoluti, ma indicano in quale misura la grandezza considerata sopravanza il valore iniziale di riferimento.**

2.4. Frequenza, filtri bande di frequenza

Se generiamo un campo sonoro da parte di più diapason attivati simultaneamente, ognuno rispondente alla sua frequenza caratteristica, il campo risultante contiene componenti di diversa frequenza; ciò ci riconduce alla considerazione che una sorgente sonora può, in linea di principio, produrre un numero di componenti di frequenza diversa anche infinitamente grande.

Poiché l'interazione tra un'onda acustica e un ostacolo qualsiasi, così come i suoi effetti sull'apparato uditivo dipendono dal contenuto in frequenza, è di estrema importanza la

caratterizzazione dal punto di vista delle frequenze componenti . Lo spettro di frequenza è quindi un **altro importante parametro di valutazione di un suono**: caratterizza la tonalità del suono stesso (da grave o molto acuto) , si misura in hertz (Hz), unità che indica il numero di oscillazioni che si verificano ogni secondo.

Qualora si sia in presenza di un fenomeno sonoro di tipo sinusoidale, che interessi una singola frequenza, esso viene definito tono puro; nella maggior parte dei casi tuttavia, il fenomeno sonoro da prendere in considerazione appare notevolmente più complicato, essendo rappresentato da una oscillazione periodica complessa, o come spesso accade nel caso di rumore, da una emissione sonora di tipo aleatorio. In tali circostanze può essere utile, per una migliore valutazione del disturbo generato da rumore, studiarne la distribuzione lungo tutte le frequenze che interessano la banda acustica udibile.

2.5. Sensazione acustica

I valori numerici riferibili al livello di pressione sonora e quelli relativi allo spettro del rumore, non sono sufficienti se presi come valori isolati, a definire l'entità della sensazione acustica, la cui entità varia in relazione non lineare con il modificarsi dei valori predetti.

Le sensazioni generate da suoni e rumori sono correlate con parametri diversi come l'altezza del suono, il timbro, l'intensità soggettiva: hanno notevole importanza inoltre, il fattore durata, oltre a quei fenomeni riferibili all'inizio e al termine dell'emissione sonora, connessi, a loro volta, con il tempo di salita e di decremento della potenza acustica irradiata.

Il timbro di un rumore dipende dalla composizione spettrale del rumore stesso, **l'altezza del rumore** è principalmente funzione della frequenza, ma dipende anche dalla composizione spettrale del fenomeno così come al livello di pressione sonora acustica incidente.

Quando si vuole valutare con ragionevole approssimazione l'intensità soggettiva determinata da un rumore o da un suono, si ricorre a strumentazione adeguata , fonometri, attraverso i quali ricorrendo ad artifici tecnici di calcolo, si può ottenere un singolo valore numerico rappresentativo delle due variabili intensità e frequenza: all'interno del quale i parametri vengono pesati al fine di poter comparare , in prima approssimazione, il comportamento dell'orecchio umano con particolare riferimento ai valori in dB(A). Tale livello fornisce la indicazione di pressione sonora, le cui singole componenti spettrali sono state pesate in frequenza, per tener conto della differente risposta spettrale dell'orecchio umano, il quale è in grado di percepire variazioni di circa 5 dB che si verificano in 5µs ,

ed è stato accettato, inoltre , che il tempo di integrazione dell'orecchio umano sia lo stesso sia nella fase di salita che in quella di discesa del livello sonoro .

E' interessante notare che la minima variazione di un suono, che l'orecchio è capace di percepire , corrisponde ad un aumento dell'intensità energetica del 25 %, fatto che espresso in termini matematici, equivale ad affermare che l'unità della scala dB corrisponde al *minimo scalino acustico* anche per quanto riguarda la sensibilità soggettiva.

Oltre alla curva di ponderazione A sono state adottate le curve di ponderazione B,C,D: la curva B è ormai caduta in disuso , la curva C dovrebbe essere utilizzata per valori elevati , la curva D utilizzata quasi esclusivamente per la valutazione del disturbo derivante dall'esposizione al rumore aerodinamico.

2.6. Il livello continuo equivalente, L_{eq}

Il "livello continuo equivalente" di un dato suono o rumore variabile nel tempo 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 totale di energia sonora. Lo scopo dell'introduzione del livello equivalente è quello di poter **caratterizzare con un solo dato** di misura un rumore variabile, all'interno di un intervallo di tempo prefissato. L'aggettivo equivalente sottolinea il fatto che le quantità di energia trasportata dall'ipotetico rumore costante e da rumore reale sono uguali .Il livello continuo equivalente viene essere misurato direttamente con appositi strumenti che, eseguono automaticamente il calcolo per giungere alla definizione del L_{eq} **da intendersi come l'energia sonora mediata nel tempo T di osservazione**

2.7. Valutazione del livello energetico medio e del disturbo provocato dal rumore

E' stato constatato che il livello energetico medio del rumore, erogato per un determinato intervallo di tempo, può essere indubbiamente correlato con il danno uditivo o di altra natura subito dal soggetto esposto; si è ugualmente potuto accertare che tale parametro è in relazione con l'effetto di annoyance e che in tal caso intervengono altresì fattori collegati, ad esempio, al momento della giornata durante il quale il rumore si verifica. Sulla base di tali considerazioni sono stati messi a punto alcuni parametri di misura quali l' L_{eq} , utilizzato in special modo per la valutazione dei rumori di tipo industriale, ma che comunque viene comunemente adoperato per la misura di rumori di intensità variabile ed in particolare di tipo aleatorio e gli indici L_{DN} , generalmente utilizzati per la individuazione della fastidiosità del rumore da traffico veicolare, estendibile anche per altre tipologie di rumore ambientale .

Quindi, **il livello sonoro equivalente continuo (Leq)** costituisce un indice dell'effetto globale di disturbo dovuto ad una sequenza di rumore compresa entro un dato intervallo di tempo; esso cioè corrisponde al livello di rumore continuo e costante che nell'intervallo di tempo predetto possiede lo stesso "livello energetico medio" del rumore originario; esso in sostanza commisura, anziché i valori istantanei del fenomeno acustico, l'energia totale eccitata dal soggetto in un certo tempo. Con questo criterio si sostituisce al reale valore fluttuante del livello di pressione acustica, il valore virtuale costante e continuo, che obbedendo a principio della uguale energia, rappresenta un indice globale di valutazione degli effetti del rumore, sia per quanto riguarda il danno che per quanto concerne il disturbo che esso arreca.

I fonometri attuali sono predisposti con integratori, così da essere in grado di fornire oltre ai livelli istantanei, anche i "livelli sonori equivalenti" riferiti ad un prefissato e/o progressivo tempo di riferimento.

3. LE SORGENTI DI RUMORE

3.1. Generalità

Non esiste attività umana che non contenga, in qualche misura, la trasformazione di energia meccanica in onde di pressione che, attraverso l'aria, raggiungono il nostro orecchio, evocando in noi qualche sensazione sonora.

Il nostro ambiente di vita, vuoi di lavoro, vuoi di svago e riposo, è abbondantemente inquinato dal rumore che la nostra stessa attività produce: allo scopo di pervenire al corretto dimensionamento delle opere di contenimento dell'inquinante, è necessario conoscerne le caratteristiche; logico quindi che alla base di ogni progetto di bonifica acustica, stia la conoscenza dello spettro sonoro del rumore che si vuole controllare, anche perché non risulta di facile applicazione rilevare ed utilizzare i dati relativi: l'ente normatore internazionale I.S.O. e quello nazionale U.N.I., hanno dedicato numerose norme alla tecnica più idonea al fine di pervenire alla corretta valutazione delle caratteristiche di emissione sonora delle sorgenti di più comune interesse, indicando in ogni caso, quale parametro da utilizzare per determinazione della potenza sonora, espressa come valore globale o addirittura con le sue caratteristiche direzionali.

In generale, considerando la molteplicità delle sorgenti sonore che possono interferire con la nostra vita, è necessario di volta in volta procedere al rilevamento dell'analisi spettrale, parimenti,

appare interessante poter disporre di una indicazione di massima, almeno per quanto concerne le più diffuse sorgenti di rumore, che, in funzione dell'ambiente, possono essere riassunte come derivanti da:

- *Ambiente industriale*
- *Ambiente esterno*
- *Ambiente di riposo*

3.2. L'ambiente industriale

L'attività industriale costituisce, fin dalle sue origini, un luogo di concentrazione di sorgenti generatrici di rumore, fenomeno sempre presente là dove operano meccanismi in movimento, quali motori, correnti fluidi, getti di aeriformi, ecc.

Queste sorgenti costituiscono ad un tempo fonte di disturbo (ma spesso addirittura di danno) per coloro che operano all'interno dell'ambiente di lavoro e per l'ambiente esterno, nei confronti del quale è l'edificio, o il complesso industriale, a costituire sorgente di rumore.

Le caratteristiche di emissione sonora dipendono principalmente dalla collocazione della sorgente e dal punto di ascolto, ma anche dalle caratteristiche delle emissioni sonore.

Se ad esempio, si analizzano le principali sorgenti di rumore di un forno, queste sono individuabili, in ordine di importanza, nei bruciatori, nelle pareti, nei condotti e nei camini, con chiara distinguibilità tra rumorosità interna (bruciatori, pareti, condotti) ed esterna (camini), ove si identifica la presenza di apparati accessori, quali ventilatori, che a loro volta costituiscono sorgenti di rumore.

Nel caso in analisi, si ha rumorosità con prevalenza di intensità alle basse frequenze con la possibilità di presenza di onde stazionarie longitudinali e/o trasversali dovute alla forma geometrica delle sorgenti emittenti

Attualmente, sempre più frequentemente, si procede nella valutazione della sorgente riferibile agli impianti nel loro complesso, ovvero quando le singole sorgenti sono assemblate e/o racchiuse in un impianto la cui superficie ideale e/o reale, che lo racchiude, viene a costituire sede di generazione di onde sferiche, le quali, in sommatoria, producono un campo sonoro di non facile schematizzazione almeno in prossimità della superficie stessa.

3.3. L'ambiente esterno

Per la valutazione della rumorosità presente nell'ambiente esterno occorre considerare che questo riceve energia sonora dalle attività che si sviluppano, ovvero dalle attività industriali, artigianali, dal traffico, dalla rumorosità di tipo antropico e legati alla vita umana.

Per ciò che riguarda la rumorosità di tipo industriale ed artigianale , ci si riconduce a quanto specificato al paragrafo precedente , mentre per quanto concerne la rumorosità da traffico è utile distinguere il traffico veicolare e dei treni, dal traffico aereo . Tra questi prevalente è la rumorosità stradale per la quale si identifica che i fattori che definiscono le relativa induzione, sia in termini di livello sonoro equivalente che di distribuzione cumulativa, sono principalmente:

- *Il numero dei veicoli in transito*
- *La presenza percentuale di veicoli pesanti*
- *La velocità media della corrente del traffico*

I parametri secondari correlabili, comunque da non trascurare, sono la pendenza della strada , la vicinanza di eventuali punti di arresto, la presenza o meno di edifici in affaccio alla strada, così come la lunghezza della strada stessa.

La componente spettrale dell'energia sonora evidenzia la **presenza di componenti a bassa e media frequenza**, con un andamento che si presenta in genere influenzato più dalle condizioni di scorrevolezza dal traffico che dalla composizione delle corrente veicolare : inoltre, si rileva che l'aumento della velocità non modifica sostanzialmente lo spettro di emissione delle autovetture, determinato principalmente dal rotolamento dei pneumatici, mentre nel caso degli autocarri, ad un aumento del numero di giri del motore corrisponde un incremento più marcato nelle frequenze medio-alte.

Molte delle considerazioni sopra svolte valgono anche per i convogli ferroviari per i quali si rileva una diversa distribuzione spettrali dell'energia sonora, emessa con **relativo aumento di livello sonoro equivalente** e conseguentemente diversa valutazione dell'eventuale grado di disturbo alla collettività; per contro, la percentuale di popolazione esposta alla rumorosità ferroviaria è senza dubbio inferiore rispetto a quella del traffico veicolare. Molto limitata è l'esposizione al traffico aereo.

3.4 L'ambiente di riposo

L'abitazione costituisce il punto fondamentale di riferimento per la rigenerazione delle nostre energie, consumate nel corso di una giornata di operatività: qui l'uomo deve poter vivere in condizioni tali da poter ritemprare anche l'organo dell'udito, quindi in un intorno acustico particolarmente caratterizzato da bassi valori del livello sonoro.

La progettazione acustica di un organismo edilizio **dovrebbe tendere** a realizzare un'opera che garantisca condizioni di benessere acustico a tutti coloro che in diverso modo utilizzano l'opera stessa.

All'esterno ed all'interno dell'organismo edilizio esistono infatti delle sorgenti di rumore che, se non controllate, possono determinare condizioni acustiche ambientali non favorevoli allo svolgimento delle attività per le quali l'opera è stata pensata e realizzata. Il progetto acustico deve garantire i livelli di prestazione richiesti ai vari requisiti acustici che caratterizzano gli ambienti abitati. Partendo quindi da tali valori, a fronte delle azioni esterne che tendono a perturbare le condizioni acustiche interne, il progettista dovrà realizzare un'opera in grado di assicurare isolamenti adeguati e ambienti confinati controllati acusticamente. Il primo passo del processo progettuale consiste pertanto nella individuazione dei requisiti acustici dei vari ambienti e nella scelta dei relativi livelli di prestazione. Dalla conoscenza poi delle azioni esterne che interferiscono con le condizioni acustiche interne richieste agli ambienti, nasce la scelta ed il progetto acustico della struttura.

4. PATOLOGIA DA RUMORE

4.1 Decibel e sensazione sonora

Come già detto l'orecchio è in grado di percepire un suono, quando questo presenta caratteristiche ben definite in intensità e di frequenza e che l'orecchio normale percepisce onde sonore di frequenza compresa tra 20 e 20.000 Hz e intensità compresa tra un valore minimo o soglia di udibilità, ed un valore massimo o soglia del dolore. Tra queste due soglie la pressione sonora varia di circa 1000 miliardi di volte, per cui è evidente che non è utilizzabile praticamente una unità di misura della pressione sonora che segua una scala lineare, ma è necessario adottare una scala logaritmica; questa scala esprimerà la relazione numerica esistente fra una grandezza di riferimento e la grandezza misurata. L'unità di valutazione del suono è il decibel (dB) e appare opportuno ricordare che l'utilizzo della scala logaritmica indica che ad ogni raddoppio dell'energia sonora corrisponde un aumento di 3 dB del livello sonoro; viceversa una riduzione di 3 dB della rumorosità produrrà in pratica un dimezzamento dell'energia incidente.

Per definire la sensazione prodotta sull'uomo da un suono non sono sufficienti i suoi valori numerici di frequenza e intensità, infatti la relazione tra livello sonoro e sensazione non è una relazione lineare; più precisamente ad **un aumento del livello di pressione sonora non corrisponde un proporzionale aumento di sensazione**; inoltre, per maggiore chiarezza, non ha carattere lineare nemmeno la risposta un frequenza dell'orecchio, cioè a parità di livello di pressione sonora espressa di dB, la sensazione varia al variare della frequenza.

4.2 Effetti uditivi - extrauditivi

Tra gli effetti uditivi, ovvero sull'organo dell'udito la prima conseguenza da annoverare è la sordità: la sordità da rumore è la malattia che ha incidenza più elevata tra le malattie professionali.

È in relazione al sistema uditivo che si pone la problematica della sordità, ossia della fase terminale di un processo di perdite progressive della capacità uditiva derivanti da attività particolarmente inquinante da rumore.

Gli effetti extra – uditivi da rumore possono essere schematicamente distinti in due grandi gruppi, uno comprendente gli effetti neuropsichici e l'altro comprendente quelli somatici- di seguito specificati:

- **Effetti neuropsichici** : il rumore può indurre variazioni dei potenziali elettrici cerebrali sia durante in sonno che nello stato di veglia. Secondo le più recenti vedute si ritiene che il rumore eserciti attraverso la sostanza reticolare un'azione eccitante sulla corteccia celebrale tale da determinare effetti inizialmente positivi sulla qualità delle prestazioni : superato tuttavia la fase iniziale, il rendimento decade, per giungere ad un abbassamento delle capacità, ad un aumento delle facoltà a commettere errori fino al raggiungimento ad una situazione paragonabile alla fatica mentale determinando anche le possibilità di infortuni e incidenti .
- **Effetti somatici**: il rumore può agire in maniera diretta o mediata su quasi tutti gli organi ed apparati. Si computano principalmente gli effetti esercitati sull'apparato cardiocircolatorio, su quello gastro – enterico, sulle ghiandole endocrine, per giungere alla considerazione che il rumore determina variazioni della resistenza elettrica della cute dovuta ad un aumento della secrezione sudorale da stimolazione simpatica, variazioni del tono muscolare e modificazioni della meccanica respiratoria. Sono inoltre state descritte anche turbe a carico della funzione vestibolare e di quella visiva.

4.3 Danno, disturbo, fastidio

Gli effetti ledenti che la esposizione al rumore determina sull'uomo, possono variare in relazione alle caratteristiche fisiche del fenomeno, ai tempi ed alle modalità di erogazione dell'evento sonoro, alla specifica responsività dei soggetti patenti e sono classificabili come effetti di danno, di disturbo o semplicemente di fastidio (annoyance) .

Deve essere definita “danno” una qualsiasi alterazione unicamente ed obiettivamente definibile non reversibile o, almeno, non completamente reversibile dovuta al rumore, che sia dal punto di vista clinico diagnosticabile

Deve intendersi invece come “disturbo” una qualsiasi alterazione temporanea delle condizioni psico fisiche del soggetto, che sia chiaramente obiettivabile, determinando effetti fisici e patologici ben definiti.

Il terzo tipo di effetto, l’**annoyance**, può essere a sua volta indicato come “un sentimento di scontentezza riferito al rumore che l’individuo sa o crede che possa agire su di lui in modo negativo; questo fastidio è la risposta soggettiva agli effetti combinati dello stimolo disturbante e di altri fattori extraesposizionali di natura psicologica, sociologica ed economica”

Il disturbo e il danno che l’ esposizione al rumore determina sull’uomo sono essenzialmente riconducibili ad effetti di tipo specifico (uditivi e vestibolari), di tipo neuro – endocrino e psicologico, di ordine psicosomatico su organi bersaglio e ad effetti psicosociali.

È’ consuetudine distinguere, talvolta nettamente, gli effetti patogeni del rumore urbano (non specifici) da quelli derivanti dalla rumorosità industriale (specifici) e questo, sia per la differente composizione della popolazione patente, sia per le diverse caratteristiche fisiche del rumore impattante, sia ancora per la non confrontabilità dei tempi di esposizione e per la generalmente non sovrapponibile patologia manifestatesi.

5. IL RUMORE AMBIENTALE

In Europa, ed in generale in tutti i Paesi più industrializzati, l’inquinamento acustico degli ambienti di vita sta assumendo una rilevanza crescente come fattore di degrado ambientale e di pregiudizio della qualità della vita.

Ciò costituisce l’inevitabile conseguenza del modello di sviluppo socio economico che, dal dopoguerra in poi, ha dato impulso alla crescita di questi paesi.

Il rumore è passato inosservato sino a quando , raggiungendo livelli particolarmente elevati ed una progressiva diffusione, ha dato origine a forme di protesta sempre più numerose e sempre più vigorose: il problema è dovuto in larghissima misura all’incremento vertiginoso, in particolare in quest’ultimo ventennio, dei mezzi di trasporto privati e collettivi.

Pur non raggiungendo livelli tali da dare origine a perdite uditive, il rumore ambientale è responsabile di effetti indiretti (extra uditivi) sulla salute, per alcuni dei quali può costituire una concausa mentre per altri rappresenta certamente l’elemento scatenante.

Dai risultati degli studi condotti dall'O.C.S.E. (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico), sono emerse indicazioni che portano alla identificazione delle seguenti soglie di rumore:

- *un rumore esterno compreso tra 55 e 60 dB(A) provoca disturbo e turbe del sonno*
- *tra 60 e 65 dB(A) il disturbo aumenta considerevolmente*
- *al di sopra dei 65 dB(A) si verificano modificazioni del comportamento che sono indice di gravi danni prodotti dal rumore.*

Le principali sorgenti di rumore , già descritte, sono di seguito elencate in termini di importanza ed incidenza, come cause responsabili dell'inquinamento acustico esterno:

- *traffico veicolare*
- *insediamenti produttivi e commerciali*
- *altre cause*

Con il termine “ insediamenti produttivi” ed “altre cause” si intende accorpare una molteplicità di sorgenti di rumore legate ad attività ed esercizi.

Non verranno trattate le modalità di emissione di ogni sorgente quale possibile fonte di rumore disturbante, bensì verrà solamente citata tutta la parte legislativa inerente le prescrizioni dettate, come anche le metodiche di analisi e rilievo del rumore ambientale, rispetto all'inquinamento acustico in generale.

- *DPCM 01/03/1991 “Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno”*
- *Legge 447/1995 “Legge Quadro sull'inquinamento acustico”*
- *DPCM 14/11/1997 “Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”*
- *D. Min Amb. 10/03/1998 “Tecniche di rilevamento e misurazione dell'inquinamento acustico”*
- *DPCM 16/04/1999 n. 215 “Regolamento recante norme per la determinazione dei requisiti acustici delle sorgenti sonore nei luoghi di intrattenimento danzante, di pubblico spettacolo e nei pubblici esercizi”.*

Molto più ampia è la problematica connessa con l'alterazione che ogni opera umana comporta per l'ambiente e riconosciuta la necessità inderogabile di non arrecare ulteriori danni oltre a quelli già presenti tra uomo e ambiente, sono state predisposte legislazioni per l'attivazioni di procedure di studio di Impatto Ambientale, per distinti fattori ambientali tra cui è da intendersi il rumore.

L'impatto ambientale connesso con la rumorosità, va inteso come potenziale origine di disturbo alla quiete o all'espletamento di attività lavorative : incrementi sensibili della rumorosità , intesa in senso lato per intensità, caratteristica temporale e/o spettrale , possono comportare una vera e propria compromissione dell'equilibrio psico-fisico se non addirittura dall'apparato uditivo , quindi in generale della salute.

La relazione di impatto acustico ha quindi lo scopo di fornire una previsione dei livelli sonori immessi, sia nell'ambiente esterno che negli ambienti interni, dalle sorgenti che producono o preferibilmente possono produrre inquinamento acustico; i valori previsti dovranno essere confrontati con quelli limite assoluti e differenziali imposti dai riferimenti legislativi.

La relazione di impatto acustico può riguardare situazioni molto diverse: nuova sorgente che si immette in un sistema di ricevitori esistenti, nuovo ricevitore che si stabilisce in un sistema di sorgenti già presenti . Può essere presente il caso di sorgente/i e ricevitore/i che ancora non esistono , ma di cui interessa valutare l'interazione acustica. In tutti i casi è indispensabile procedere ad una descrizione della situazione acustica esistente prima dell'intervento (situazione “ ante operam”)

La Legge 447/95, al suo art. 8 comma 4 , stabilisce che le domande per il rilascio di **concessione edilizia** , licenza o autorizzazione all'esercizio di attività relativa a nuovi impianti ed infrastrutture adibiti ad attività produttive, sportive e ricreative e a postazioni di servizi commerciali polifunzionali, devono contenere una documentazione di previsione di impatto acustico redatta sulla base di criteri stabiliti con Legge Regionale.

A tale proposito la Regione Emilia Romagna emanava Legge Regionale N. 15 del 09/05/2001 “Disposizioni in materia di inquinamento acustico” , allo scopo di dettare norme per la tutela della salute e la salvaguardia dell'ambiente esterno ed abitativo dalle sorgenti sonore, prevede che i Comuni debbano approvare la propria classificazione acustica entro 14 mesi dalla data di pubblicazione.

A seguire sono state promulgate le seguenti Delibere di Giunta :

- *Delibera di Giunta regionale 09/10/2001 N. 2053 :” Criteri e condizioni per la classificazione acustica del territorio ai sensi del comma 3 art.2 e L.R. 09/05/2001 N. 15”*
- *Delibera di Giunta Regionale 21/01/2002 N. 45 : “ Criteri per il rilascio di autorizzazioni per particolari attività ai sensi dell'art 11 comma 1 L.R. 09/05/2001 n. 15”*

- *Delibera di Giunta Regionale 14/04/2004 N. 673: “Criteri tecnici per la redazione di previsione di impatto acustico e della valutazione di clima acustico ai sensi della L.R. 09/05/2001 recante disposizioni in materia di inquinamento acustico”*

6. IL RUMORE IN AMBIENTE DI LAVORO

Il rumore industriale, che sarebbe meglio definire come rumore derivante dal funzionamento di macchine o di attività lavorative, rappresenta un aspetto particolare del rumore di città, ma si differenzia dal rumore ambientale, di cui si è già argomentato al punto 6.

In linea di massima, il rumore industriale è caratterizzato da livelli di pressione sonora piuttosto elevati, distribuiti entro **campi di frequenza medio-alte**; per tali specifiche caratteristiche esso tende a differenziarsi dal rumore urbano, classicamente definito come un rumore di livello meno elevato ed a campo spettrale molto esteso con prevalente interessamento delle frequenze medio-basse.

In relazione ai suddetti fattori, il rumore industriale determina effetti lesivi prevalenti non del tutto sovrapponibili a quelli causati dal rumore di tipo urbano.

Nella rilevazione del rumore di tipo industriale, pertanto, assume particolare importanza, agli effetti della valutazione di danno, la misurazione del soggetto patente, misurazione che, di norma, viene effettuata in termini di $L_{Aeq,8}$.

Già nel 1991 con il D.Lgs. 277 del 15/08/1991 erano previsti limiti di accettabilità del rumore in ambiente di lavoro, indicando un livello equivalente di 85 dBA per otto ore lavorative al giorno ($L_{Aeq,8} = 90$ dBA) il limite della possibile insorgenza del danno di tipo scientifico. Sono stati altresì precisati i limiti massimi di rumore che non devono essere superati anche per intervalli di tempo molto piccoli: per il rumore impulsivo si è ritenuto non debbano essere superati i 140 dB in costante di tempo Peak.

Attualmente, il D.Lgs. 195/2006 determina i requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e sicurezza derivanti dall'esposizione al rumore durante il lavoro, secondo il concetto dei valori limite di esposizione e valori di azione attraverso le seguenti prescrizioni:

- **Valori limite di esposizione rispettivamente $L_{EX,8h} = 87$ dB(A) e $p_{peak} = 200$ Pa (140 dB(C)) riferito a 20 μ Pa**
- **Valori superiori di azione: rispettivamente $L_{EX,8h} = 85$ dB(A) e $p_{peak} = 140$ Pa (137 dB(C)) riferito a 20 μ Pa**
- **Valori inferiori di azione: rispettivamente $L_{EX,8h} = 80$ dB(A) e $p_{peak} = 112$ Pa (135 dB(C)) riferito a 20 μ Pa**

7. L'AMBIENTE ABITATIVO

7.1. Il benessere acustico interno degli edifici

La più semplice ed intuitiva delle tecniche di difesa acustica che possano essere applicate nel vasto campo dell'edilizia ed in particolare in quello dell'edilizia abitativa, consiste in un accurato studio della distribuzione interna degli ambienti compresi nello spazio preso in esame, in relazione alla posizione ed alla direzionalità della sorgente prevalente di rumore, nonché alla destinazione d'uso degli ambienti stessi.

La distribuzione interna degli edifici può essere infatti un efficace mezzo per il controllo del rumore.

Non è peraltro da sottovalutare il fatto che le misure prese per risolvere un problema di rumore attraverso lo studio distributivo degli ambienti possono essere in conflitto con le altre esigenze architettoniche o ambientali, quali quelle di circolazione interna dell'edificio, dell'aspetto dei prospetti, della presenza di finestrate e con molti altri fattori che devono essere presi in considerazione nel progetto di un edificio.

Il controllo del rumore in realtà comincia con la scelta del luogo dove deve sorgere l'edificio e l'importanza della presenza del rumore in tale tipo di scelta dipende ovviamente della destinazione d'uso dell'edificio stesso.

In base ai valori dei livelli di rumore accettabili per le varie destinazioni d'uso, si potrà intanto fare una valutazione della maggiore o minore importanza della presenza di un rumore stesso.

Sarà poi necessario individuare quali livelli di rumore possono verificarsi in corrispondenza dell'area scelta per l'edificio per la presenza di sorgenti esterne quali il traffico stradale, ferroviario ed aereo, gli stabilimenti industriali, i luoghi di ricreazione, i parcheggi, etc.

Una volta analizzate le condizioni del luogo occorre definire, per ogni ambiente dell'edificio, il livello massimo di rumore accettabile e il livelli delle sorgenti potenziali di rumore all'interno dell'edificio stesso.

Gli ambienti interni possono essere classificati in tre principali categorie:

- *ambienti che richiedono delle condizioni di quiete, definibili come ambienti protetti*
- *ambienti contenenti una sorgente di rumore, definibili come ambienti rumorosi*
- *ambienti che devono essere allo stesso tempo protetti dalle intrusioni di rumore e che contengono sorgenti di rumore, come per esempio, le aule per la musica*

In base a questa prima classificazione e a titolo puramente indicativo si possono individuare cinque categorie di interventi per il controllo del rumore che possono essere adottati nella riduzione del rumore ottenibile con lo studio della distribuzione interna.

- Gli ambienti protetti devono essere disposti il più lontano possibile dagli ambienti rumorosi o dalle sorgenti esterne di rumore
- La finestratura degli ambienti protetti deve essere disposta in modo da non essere rivolta verso le sorgenti esterne di rumore o verso gli ambienti rumorosi.
- Gli ambienti protetti devono essere difesi dai rumori interni o esterni con spazi di disimpegno, per i quali il rumore assume minore importanza.
- Gli ambienti rumorosi devono essere il più possibile raggruppati in modo da contenere il loro effetto nei restanti ambienti
- La trasmissione strutturale di rumore può essere interrotta attraverso la separazione fisica delle strutture degli ambienti rumorosi da quelli protetti.

7.2 Assorbimento, riflessione e trasmissione dei suoni nelle strutture edilizie

Quando un'onda sonora incontra un ostacolo, quale, ad esempio, la parete di una stanza, parte dell'energia sonora viene riflessa, parte assorbita dal materiale che costituisce la parete (e dissipata come calore), parte supera l'ostacolo, penetrando all'interno dell'ambiente considerato, mentre un'ulteriore aliquota del rumore incidente è dispersa attraverso fughe laterali, verso altri elementi della costruzione.

Quest'ultima parte si può trasmettere ad ambienti adiacenti costituendo la cosiddetta "trasmissione laterale o di fiancheggiamento"

In una **parete reale** tuttavia, la trasmissione del rumore può anche verificarsi per filtrazione e diffrazione delle onde sonore attraverso i pori e le fessure del materiale da costruzione, o senza che si producano vibrazioni apprezzabili per propagazione del suono attraverso un mezzo solido.

Le frazioni dell'energia incidente totale, rispettivamente riflessa, assorbita e trasmessa al di là di una parete, sono individuate dai tre coefficienti di riflessione (**r**), di assorbimento (**a**) e di trasmissione o di trasparenza della parete (**t**) che in sommatoria tra loro devono fornire il valore unitario.

Il coefficiente di riflessione viene definito come il rapporto tra l'energia acustica rinviata verso il primo mezzo e l'energia incidente sulla superficie di separazione; quello di **assorbimento**, come il rapporto fra l'energia assorbita nel secondo mezzo e l'energia incidente; quello di **trasmissione** infine, come il rapporto fra l'energia che ha attraversato la parete e l'energia incidente sull'altra faccia.

I tre coefficienti sono numeri dimensionali, variabili tra 0 e 1 ed esprimono la capacità di un materiale rispettivamente a riflettere, ad assorbire e a trasmettere l'energia sonora.

Un materiale perfettamente riflettente avrebbe $r = 1$ e $a = 0$, mentre per un materiale perfettamente assorbente si ha $r = 0$ e $a + t = 1$ e se la trasmissione al di là dell'ostacolo è trascurabile $a = 1$.

Per una sorgente sonora che si trovi in un ambiente chiuso, si può ritenere **assorbita** tutta l'energia **non riflessa**, in quanto la parte trasmessa, a meno che non si tratti di pareti eccezionalmente sottili oppure presentanti discontinuità (fori e fessure), è sempre molto piccola.

I tre coefficienti variano **con la frequenza** del suono incidente e pertanto per specificare la capacità di riflessione, di assorbimento o di trasmissione di un determinato materiale od oggetto, è necessario fornire la curva caratteristica del coefficiente considerato in funzione della frequenza.

7.3 Il progetto acustico delle strutture di confine per il controllo del rumore

Convenzionalmente si distinguono due modalità di propagazione dell'energia sonora in relazione alla via di propagazione:

- 1) **Per via aerea**, nel caso in cui le onde sonore, direttamente o attraverso pareti divisorie si trasmettono dalle sorgente all'ascoltatore
- 2) **Per via strutturale**, nel caso in cui le onde sonore che raggiungono l'ascoltatore sono generate da urti e vibrazioni prodotte sulle strutture in cui si trova l'ambiente disturbato.

I requisiti acustici richiesti agli elementi edilizi sarà diverso in relazione a queste diverse modalità di propagazione dell'energia sonora, in particolare si dovranno garantire alle strutture di confine, nel caso di rumore aereo prodotto nel locale stesso, requisiti di assorbimento acustico alle superfici di confine; nel caso di rumori aerei trasmessi attraverso le pareti divisorie, requisiti di isolamento acustico; nel caso infine di rumore strutturale, requisiti di isolamento dai rumori impattivi.

7.4. Il potere fonoisolante R- rumori aerei provenienti dall'esterno degli ambienti disturbati

Nel caso in cui si debba valutare le proprietà isolanti di una struttura occorre fare riferimento al valore del coefficiente di trasmissione "t" che esprime la percentuale di energia sonora che ha attraversato la parete. In generale la grandezza che definisce tali proprietà è il **potere fonoisolante "R"** della parete, definibile, in senso semplicistico, come il numero dei decibel di cui si riduce l'energia incidente sulle pareti nel passaggio attraverso la struttura.

Il valore di R varia con la frequenza oltre che con la direzione di provenienza del suono, infine il valore di R è funzione anche delle proprietà geometriche e fisiche della parete.

E' possibile la determinazione del potere fonoisolante R di elementi e/o pareti secondo metodo sperimentale: prova che viene svolta ponendo l'elemento in esame come divisorio tra due camere di prova: per ogni banda di frequenza, viene calcolato il valore di R, noti i livelli di pressione sonora medi nell'ambiente disturbante e nell'ambiente ricevente.

Nelle applicazioni pratiche quello che interessa è la risposta d'insieme dell'opera costruita tenuto conto delle varie modalità di realizzazione. La grandezza che in questo caso descrive il comportamento acustico di una parete divisoria è l'**isolamento acustico D**, definito dalla differenza tra i livelli di pressione sonora tra l'ambiente trasmittente e ricevente. Occorre considerare che la capacità di assorbimento dell'ambiente ricevente influenza il livello sonoro percepito, quindi il valore da considerare è quello normalizzato occorre tenere in debita considerazione tale condizione al fine di la norma prevede che il valore dell'isolamento acustico venga corretto secondo la relazione:

normalizzato D_n che tiene in debita considerazione l'area equivalente di assorbimento acustico dell'ambiente ricevente e A_0 l'area equivalente di assorbimento acustico di riferimento, pari a 10 m^2 .

L'isolamento acustico D può essere determinato solo con misure in opera; questo, infatti, dipende non solo dal potere fonoisolante R della parete che li divide, ma anche dalla possibilità che ha il suono di trasmettersi da un ambiente all'altro su percorsi contro le strutture (trasmissione di fiancheggiamento), che sono diversi da quello diretto attraverso la separazione. E' da considerare, inoltre, il suono che propaga attraverso canalizzazione di servizi ed impianti, ed infine dalle caratteristiche di assorbimento dell'ambiente ricevente così come dall'estensione superficiale della parete di separazione.

In merito al livello sonoro nell'ambiente disturbato, si constata che questo è tanto maggiore quanto minore è il coefficiente di assorbimento medio delle pareti e maggiore la loro superficie riflettente.

Per una valutazione globale del comportamento , si utilizza un unico parametro denominato indice di valutazione, impiegato per classificare le curve del potere fonoisolante R_w dell'isolamento acustico D_{nw} ed anche del livello di calpestio L_{nw} .

E' importante osservare che, in genere, è questo il parametro a cui si fa riferimento nell'assegnare i livelli di prestazione dei requisiti di isolamento acustico (misure in opera) o potere fonoisolante (misure in laboratorio) **delle pareti divisorie nei capitolati di appalto .**

7.5 Previsione del potere fonoisolante R

La previsione del potere fonoisolante si distingue a seconda che si sia in presenza di :

- *Pareti omogenee*
- *Pareti leggere*
- *Pareti composte*

Per esempio:

- Per una parete a struttura monostrato, costituito cioè da un'unica massa oscillante , anche se composta da strati di diversi materiali (es. intonaco, mattoni), il potere fonoisolante è, a parità di frequenza del suono incidente quasi interamente determinato dalla massa per unità di superficie; tale dipendenza è conosciuta come **legge di massa** e trova spiegazione nel concetto che quanto più è massiccia la parete, tanto maggiore è la sua inerzia, di conseguenza tanto più difficilmente l'onda sonora che la colpisce potrà metterla per oscillazione.
- Se si vogliono ottenere valori elevati del potere fonoisolante senza appesantire eccessivamente la costruzione, è necessario ricorrere a pareti e strati multipli separati da intercapedine, composte cioè da più strati, i quali sotto l'impulso delle onde sonore, possono vibrare in maniera più indipendente possibile. Ogni collegamento infatti trasformerebbe la parete multipla in una unica struttura rigida con conseguente diminuzione della capacità isolante.
- Nel caso in cui sulla parete siano presenti aperture , porte o finestre , il potere fonoisolante complessivo si riduce notevolmente , ed è in funzione prevalentemente della dimensione delle singole parti costituenti.

7.6 Il potere fonoisolante dei serramenti

Finestre e porte rappresentano nella maggior parte dei casi i punti di minor resistenza dell'isolamento acustico di una parete.

Le finestre in particolare, offrono al passaggio dell'energia sonora un insieme di percorsi in parallelo. In ordine di importanza, ai fini del decremento della protezione acustica, è necessario considerare gli interstizi che corrono lungo tutto il perimetro della finestra stessa, le vibrazioni dei vetri e le vibrazioni del telaio.

Le finestre se mal costruite, forniscono un potere fonoisolante estremamente basso che in certi casi non supera i 6- 10 dB.

Al contrario una finestra dotata di telaio metallico con guarnizioni in gomma, presenta un potere fonoisolante dell'ordine di 20-25 dB, che salgono a 30-35 dB se si adottano vetri doppi con intercapedine di aria o di gas compresso.

Gli infissi dovranno garantire una buona tenuta ed una perfetta chiusura perimetrale del vano della finestra: essi, inoltre, determinano le condizioni al contorno di vincolo della superficie vetrata, che possono influenzare in modo significativo la prestazione acustica dell'intero serramento.

Per concludere ,il potere fonoisolante di una porta , se il suo battente è a perfetta tenuta, è proporzionale alla massa della porta stessa e si aggira attorno ai 5 dB per ogni raddoppio della massa della struttura presa in esame.

7.7. Rumore di calpestio, rumore trasmesso per via strutturale

Per rumori impattivi si intendono quelli causati dalla caduta di oggetti sul pavimento, dei passi delle persone ecc.; si tratta cioè di rumori trasmessi essenzialmente per via strutturale e che interessano il complesso pavimento – solaio.

Il requisito acustico che caratterizza il comportamento di questi componenti edilizi nei confronti dei rumori impattivi è il livello di rumore di calpestio (L_n) (dB)

La prestazione viene valutata attraverso la misura del livello di pressione sonora nell'ambiente sottostante quando sul pavimento agisce una macchina normalizzata generatrice di rumori impattivi.

La procedura di misura è analoga a quella adottata in laboratorio per il valore di R e fornisce il valore del livello di calpestio normalizzato L'_n o il livello di calpestio standardizzato L'_{nT} , ove anche in questo caso, si terrà in debita considerazione l'assorbimento della camera ricevente. In forma sintetica, il comportamento acustico del campione, è *l'indice di valutazione del livello di calpestio* L_{nw} (dB).

7.8 Rumori degli impianti dell'edificio

Molto spesso il rumore prodotto dagli impianti interni ad un edificio o quello prodotto o trasmesso dalle canalizzazioni possono deteriorare una condizione di protezione acustica per altri versi ottimale.

È da notare peraltro, che tale tipo di rumore è tanto più fastidioso, quanto più è basso il rumore di fondo all'interno dell'edificio e quindi quanto più è soddisfacente l'attenuazione acustica fornita dalle pareti o dai solai nei riguardi delle sorgenti di rumore posta all'esterno dell'ambiente considerato.

Il rumore degli impianti tecnici deriva principalmente dal movimento di macchine e apparecchiature e dal flusso di fluidi all'interno di condotte. Il rumore delle macchine può essere trasmesso per via aerea, o attraverso le canalizzazioni degli impianti stessi, oppure sotto forma di vibrazioni, attraverso le strutture; il rumore dei fluidi tende invece a propagarsi principalmente attraverso le canalizzazioni e le strutture solide collegate con queste e, solo in via secondaria, attraverso il mezzo aereo.

Anche in questo caso a titolo puramente indicativo si forniscono alcune indicazioni di carattere generale

- Scegliere apparecchiature poco rumorose (ad esempio compressori raffreddati ad acqua anziché ad aria) e provvedere ad una periodica manutenzione delle stesse;
- Attenuare la trasmissione delle vibrazioni fra apparecchiature e strutture mediante supporti antivibranti;
- Evitare i collegamenti dei componenti gli impianti con le pareti e con le strutture portanti, installando le macchine su basi rigide e pesanti ed isolate dalle strutture;

7.9 Normativa tecnica acustica edilizia

Un primo accenno di interesse degli organismi normativi nazionali, verso il problema dell'isolamento acustico, è dato dalla:

- *CIRCOLARE Ministero LL.PP. n. 1769 del 30/04/1966 “criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici nelle costruzioni edilizie”.*

la quale impone dei valori minimi di isolamento acustico e valori massimi per il livello di rumore da calpestio, sia per misure di laboratorio che per misure in opera.

Si evidenziano inoltre

- *D.M. 18/12/1975 “Norme tecniche aggiornate relative all’edilizia scolastica”*
- *CIRCOLARE n. 3150/75 “criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici degli edifici scolastici”, che impone limiti inferiori per l’isolamento acustico e limiti superiori per il rumore da calpestio*
- *D.P.C.M. 1/marzo/1991 “Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell’ambiente esterno”.*

Ai fini della determinazione dei limiti massimi dei livelli sonori equivalenti, i Comuni adottano la classificazione in zone riportate così come riportate nella tabella 8.a. : ad ogni classe riportata vengono fissati i limiti massimi dei livelli sonori equivalenti, fissati in relazione alla diversa destinazione d’uso del territorio

Tabella 8.a

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, 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 ed 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 i attività commerciali, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali: aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici

Segue..

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

- *LEGGE 26/10/1995 n. 447 “Legge quadro sull’inquinamento acustico”.*
- *D.P.C.M. 5/12/97 (G.U. n. 297 del 22/12/97) “determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”. Il presente Decreto rappresenta il provvedimento che si riferisce direttamente ai componenti degli edifici stabilendo i requisiti di isolamento acustico che le diverse parti o i diversi componenti di un edificio devono rispettare al fine di un isolamento dai rumori.*

Nell’allegato A di tale decreto sono date le definizioni delle grandezze che caratterizzano i requisiti acustici passivi degli edifici:

- *Potere fonoisolante degli elementi di separazione tra ambienti “R”*
- *Tempo di riverberazione T*
- *Isolamento acustico standardizzato di facciata $D_{2m,nT}$*
- *Livello di rumore di calpestio di solai normalizzato : L_w*
- *Livello massimo di pressione sonora ponderata A con costante di tempo slow L_{ASmax}*
- *Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata (A): L_{Aeq}*

Inoltre vengono specificati gli **indici di valutazione** che caratterizzano i requisiti acustici passivi degli edifici:

- *Indice del potere fonoisolante apparente di partizioni tra gli ambienti (R^I_w)*
- *Indice dell’isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nt,w}$)*
- *Indice del livello di rumore di calpestio di solai ($L^I_{n,w}$)*

Infine, definisce il rumore prodotto dagli impianti tecnologici imponendo dei limiti da non superare:

- *35 dB (A) $L_{a max}$ con costante di tempo slow per i servizi a funzionamento discontinuo .*
- *25 dB (A) L_{Aeq} per i servizi a funzionamento continuo.*

8.II TECNICO COMPETENTE IN ACUSTICA AMBIENTALE

La figura professionale di “tecnico competente in acustica ambientale è istituita dall’art.2, commi 6 e 7 della legge 26 Ottobre 1995 n. 447 “ Legge quadro sull’inquinamento acustico”, quale figura idonea a svolgere attività di misura , di controllo e di risanamento dell’inquinamento acustico nell’ambiente esterno ed abitativo .

Il DPCM del 31/03/19998 ha indicato i criteri generali per l’esercizio di tale attività .

Alcuni decreti attuativi della L.447/95 rendono obbligatoria la figura del “tecnico competente” per lo svolgimento di alcune tipologie di attività nel campo dell’acustica ambientale ed in particolare :

- D,M, 16 Marzo 1998 ” Tecniche di rilevamento e di misurazione dell’inquinamento acustico “ prevede che l’attività di misura sia eseguita da un “tecnico competente”
- D.M.16 Aprile 1999 n. 215 “ regolamento recante norme per la determinazione dei requisiti acustici delle sorgenti sonore nei luoghi di intrattenimento danzante e di pubblico spettacolo e nei pubblici esercizi “ stabilisce che l’attività prevista agli artt. 4,5,6 sia eseguita da “tecnico competente ”

Inoltre la figura del tecnico competente è prevista anche per:

- la redazione della valutazione previsionale di impatto acustico e di clima acustico
- quanto attiene progetti relativi a nuove costruzioni , per i quali al termine della fase sperimentale di cui al punto precedente, siano corredati da valutazione e dichiarazione attestante il rispetto dei requisiti acustici stabiliti dal D.P.C.M. 5 Dicembre 1997 e dai regolamenti comunali
- la relazione sulle caratteristiche acustiche di nuovi edifici produttivi , di nuovi impianti , da produrre contestualmente alla richiesta di concessione edilizia
- per la definizione in fase progettuale della rispondenza ai requisiti acustici passivi degli edifici da produrre contestualmente alle richiesta di concessione edilizia
- per la misurazione in situ dei requisiti acustici di cui al punto precedente, a seguito del completamento dell’opera .

9. SINTESI RIEPILOGATIVA

Le note fin qui riportate non vogliono avere effetto esaustivo rispetto ai molteplici criteri di valutazione, misurazione e tecniche da utilizzare per la misura, il controllo e la bonifica del rumore, in quanto competenza di tecnico in acustica.

L'obiettivo prefissato è piuttosto quello di fornire, a chi inizia l'approccio alla materia, elementi di giudizio e principi base per affrontare le problematiche legate al rumore che si possono incontrare durante lo svolgimento della propria professione.

La progettazione di edifici destinati ad attività produttive è soggetta alla presentazione di specifica documentazione agli Enti Preposti per il permesso di inizio attività, denominata scheda N.I.P. E' da tenere in considerazione che vi è la possibilità di dovere allegare alla pratica citata, la valutazione di impatto acustico previsionale, così come quella, sempre previsionale di esposizione dei lavoratori al rumore interno indotto dalle lavorazioni. Conseguentemente appare quindi importante, valutare "ante operam" sia le condizioni acustiche esterne all'edificio (clima acustico del sito), sia quelle di propagazione dall'interno all'esterno dell'edificio stesso verso recettori sensibili (impatto acustico), sia la presumibile esposizione dei lavoratori all'interno dei propri luoghi di lavoro, indipendentemente che si tratti di lavoratori direttamente addetti alla produzione che con mansioni impiegatizie.

Anche per le fasi di realizzazione di edifici di tipo civile viene richiesta la valutazione del clima acustico del sito in condizione ante - operam, così come quello dell'impatto acustico prodotto sui recettori limitrofi dalle lavorazioni durante le varie fasi di cantiere. Quindi è importante, per il tecnico progettista, la conoscenza e la consapevolezza dell'esistenza di requisiti cogenti di rispetto, inerenti la costruzione di edifici. Tali requisiti devono essere atti alla riduzione dell'inquinamento acustico all'interno degli edifici citati. Altra condizione di importanza rilevante è che, al fine della rispondenza dei valori prescritti, occorre certamente effettuare corretta opera progettuale sulla scelta della collocazione degli ambienti, così come dei materiali utilizzati e degli apparati accessori, ma soprattutto occorre valutare che la dimostrazione della rispondenza con gli indici definiti a livello previsionale, non passa solo attraverso la fornitura dei certificati di prova di laboratorio sui materiali utilizzati, ma deve essere dimostrata attraverso idonei certificati redatti da parte di personale competente, a seguito di misurazioni in opera sull'edificio in analisi, e non da ultimo è necessario che tra la fase iniziale di progetto acustico e finale di attestazione, si possa effettuare un puntuale ed attento controllo sulle modalità di posa in opera.

Riassumendo è quindi auspicabile la collaborazione sia in fase progettuale che in fase di realizzazione tra tecnici progettisti, tecnici competenti in acustica, e imprese di costruzione e quant'altro per la realizzazione ottimale dell'opera e quindi per evitare successivamente di essere chiamati a rispondere di eventuali “ vizi del bene”.

Infine occorre che i tecnici progettisti non siano solo tali , ma che siano anche edotti sulle migliore tecniche di isolamento ed assorbimento acustico al fine di poter agire criticamente e svolgere in maniera ottimale la fase di coordinamento, su quanto proposto in merito all'argomentazione trattata. Gli ulteriori incontri in materia saranno finalizzati a tale scopo.

Bibliografia di riferimento

- ***Cocchi – INQUINAMENTO DA RUMORE***
- ***Cocchi – Cosa – RUMORE E VIBRAZIONI – Vol. I- Elementi i acustica applicata***
- ***Cocchi – Cosa – RUMORE E VIBRAZIONI – Vol. II- Il rumore nell’ambiente abitativo e nell’ambiente esterno***
- ***Cocchi – Cosa – RUMORE E VIBRAZIONI – Vol. III -Il rumore negli ambienti di lavoro***
- ***Harris – Manuale di controllo del rumore***
- ***Marani –Isolamentio acustico nell’edilizia civile***
- ***AA.V. – AIA – La valutazione d’impatto acustico in attuazione della legge 447/95***
- ***AA.V. – AIA – Le nuove direttive riguardanti l’esposizione e rumore***