



CITTÀ DI LIMBIATE
PROVINCIA DI MONZA E BRIANZA

COMUNE DI LIMBIATE

CODICE IDENTIFICATIVO UNIVOCO GESTORE: 0114

PROVINCIA DI MONZA E BRIANZA

RELAZIONE DESCRITTIVA EX D.LGS. 194

PIANI D'AZIONE 2018

SETTORE LAVORI PUBBLICI E AMBIENTE

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE GENERALE
2. RIFERIMENTI GIURIDICI
3. LE RAGIONI DELL'ACUSTICA
4. PROCEDURE E TECNICHE
5. TEORIA ACUSTICA
6. PRIORITA' DI INTERVENTO
7. AZIONI DI MITIGAZIONE
8. ESPOSTI POST OPERAM
9. RAPPORTO COSTO / EFFICACIA
10. CONCLUSIONI

LIMBIATE, 3 agosto 2018

I redattori

dr. Folco de Polzer

Arch. Marzia Graziano

Dr. Davide Irto





1. INTRODUZIONE GENERALE

Con il decreto legislativo 194 del 2005, lo Stato ha recepito la direttiva europea 2002/49/CE. Direttiva e decreto si pongono l'obiettivo di conoscere le condizioni dell'inquinamento acustico ambientale, prodotto dalle infrastrutture di trasporto. I gestori di strade, ferrovie ed aeroporti, devono mappare il rumore ambientale, individuare i contesti residenziali ed assimilabili che ne vengono interessati, determinare il numero dei cittadini esposti al rumore, suddivisi nelle diverse fasce di livello sonoro.

Questa prima fase si è chiusa nel giugno del 2017.

La fase successiva, denominata dei "Piani d'Azione", costituisce la continuazione logica della mappatura, vale a dire l'impostazione di un programma di interventi, a cura e spese del gestore, nel nostro caso delle strade, che siano in grado di diminuire l'esposizione al rumore della generalità dei cittadini.

Come si spiegherà più avanti, l'inquinamento acustico ambientale, fuori quindi dai luoghi di lavoro, è stato riconosciuto come concausa di svariate patologie, come disturbi cardiaci, disturbi del sonno e dell'apprendimento. Questi ultimi due tipi di effetti, sono oggetto di ricerche commissionate dalla UE da oltre vent'anni.

Una cattiva qualità del sonno influisce sul sistema nervoso centrale e sul sistema vagale, producendo malattie che vengono definite generalmente psicosomatiche.

In effetti il cervello reagisce ad uno stimolo provocato ad esempio dalle basse frequenze del traffico, riconoscendo un pericolo latente, non correttamente identificato, perciò la reazione ansiosa si rivolge all'interno del corpo, non sapendo da quale pericolo esterno si debba difendere.

L'apprendimento, in particolare nelle scuole inferiori, si riduce se le parole dell'insegnante non vengono comprese correttamente. Il danno riguarderà sia i singoli allievi, sia la comunità in generale, che ha invece interesse che i propri membri abbiano il livello culturale più alto possibile. In questo consiste la ricchezza di un paese, non il petrolio o le miniere. L'Italia ha il paesaggio e la cultura antica, ma se nessuno degli addetti conosce una lingua straniera o la storia, questi irripetibili beni vengono utilizzati male, con basso rendimento. La legislazione italiana sui piani di risanamento (cosa leggermente diversa da quanto stiamo qui trattando), favorisce con un coefficiente i ricettori scolastici ed ospedalieri.

Per gli ospedali è confermato da ricerche quanto il buon senso dice: la calma, il silenzio, la tranquillità, favoriscono le guarigioni, perciò si spera che l'Ospedale sia stato costruito in un'area quieta, ma se così non è stato, ci si deve occupare del rumore da traffico che possa raggiungere le sue facciate.

I Piani d'Azione costituiscono una sorta di programma pluriennale che i gestori delle infrastrutture adottano, per iniziare o continuare le procedure di mitigazione dei livelli sonori ambientali, senza la necessità di ottenere immediatamente il





rispetto dei limiti, che stanno sullo sfondo, come un obiettivo da raggiungere in tempi più lunghi.

Il Comune di Limbiate appartiene all'alta pianura milanese, si trova nella Lombardia settentrionale, è parte della provincia di Monza e della Brianza, della quale costituisce, amministrativamente e geograficamente, il confine sud-occidentale. Ha 35319 abitanti per una superficie di 12,29 kmq, con una densità di 2873,8 abitanti per kmq.

Circa un terzo della superficie comunale è parte del Parco delle Groane.

Considerando la sua posizione geografica e le specificità del territorio della provincia, il Comune di Limbiate è stato designato come sede di un polo istituzionale provinciale di riferimento per l'area ovest.

Limbiate si colloca fra l'insieme dei centri abitati disposti lungo la vecchia Strada statale dei Giovi, posta a est, ove l'urbanizzazione si presenta molto compatta e la zona delle Groane, ad ovest, caratterizzata invece da un'urbanizzazione molto più discontinua.

A Limbiate la strada che supera i 3 milioni di veicoli anno è la strada provinciale 44 che si dipana nel territorio ad est: da nord a sud, a volte tangente al limite comunale.



2. RIFERIMENTI GIURIDICI





Il corpus giuridico è formato dalla legge quadro e da una serie, non ancora del tutto completata, di decreti e regolamenti esecutivi

- LEGGE 26 Ottobre 1995, n. 447: Legge quadro sull'inquinamento acustico
- D.P.C.M. 14 novembre 1997: Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore
- D.P.C.M. 5 dicembre 1997: Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici
- Decreto Ministeriale 16 marzo 1998: Tecniche di rilevamento e misurazione dell'inquinamento acustico
- LEGGE 9 dicembre 1998, n. 426: pubblicata il 14/12/98: "Nuovi interventi in campo ambientale." Gazzetta Ufficiale - Serie generale n. 291 di lunedì, 14 dicembre 1998
- D. M. 29 novembre 2000: Criteri per la predisposizione, da parte delle società e dagli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore.
- Legge Regione Lombardia n. 13 del 10 agosto 2001: "Norme in materia di inquinamento acustico". D.G.R.L. Criteri per la redazione dei Piani di Zonizzazione Acustica.
- D.P.R. 30 marzo 2004, n. 142: "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare".
- Direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.
- D. lgs. 194/05 Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale"

3. LE RAGIONI DELL'ACUSTICA

Il rumore ambientale viene normato in Italia a partire dal 1 marzo 1991, con un d.p.c.m. che fissa i limiti dei livelli sonori ammissibili nelle diverse aree del territorio, in funzione della destinazione d'uso. Nel 1995, il Parlamento licenzia una legge quadro, n 447, che fornisce un quadro più completo ed armonico. La legge tratta delle competenze, dell'inquinamento acustico, stabilisce principi, commina sanzioni. Negli anni successivi lo Stato ha elaborato e pubblicato decreti e regolamenti per specifiche materie, per gli edifici, per i livelli esterni e così via. Per una trattazione completa si rimanda al corpus legislativo citato e disponibile in rete.





Va sempre tenuto presente che la legislazione acustica, ha una origine sanitaria, si occupa quindi di regolamentare l'effetto che sorgenti sonore possono avere sulla salute dei cittadini. Sono scientificamente dimostrati effetti statisticamente significativi sull'aumento delle patologie cardiache in aree con grande intensità di traffico veicolare (Babisch ed altri, a Motherwell).

È da tempo evidente che le sorgenti sonore industriali sono diminuite notevolmente sia per numero che per intensità, e i loro effetti ricadono su aree di ridotte dimensioni. Le infrastrutture di trasporto, soprattutto le strade, sono sparse sul territorio, penetrano gli abitati e portano elevati livelli sonori alle facciate di abitazioni, scuole ed ospedali, soggetti dell'analisi che parte dalla direttiva europea.

Si devono per questo conoscere i flussi, le velocità, la composizione del parco veicolare, dividendo tra leggeri e pesanti. Questi dati permettono di determinare l'energia contenuta nei livelli sonori, che si calcolano con l'uso di un modello matematico previsionale.

4. PROCEDURE E TECNICHE

Nel 2017 si è completata la fase di mappatura del rumore ambientale prodotto dalle strade con flussi annui superiori ai 3 milioni di veicoli. Nel nostro caso si tratta di una strada sola la ex S.P. 44. Il risultato, in termini di esposti, nella forma richiesta dalla UE e quindi dal d.lgs. 194, per fasce di 5 dB(A), è il seguente.

Parametro	Intervallo – dB(A)	Esposti
Lden	50-54	300
	55-59	500
	60-64	300
	65-69	200
	70-74	500
	>75	0
Lnight	45-49	400
	50-54	600
	55-59	200
	60-64	500
	65-69	100
	>70	0

Vi sono perciò 1.800 esposti alla propagazione del rumore prodotto dalla strada studiata, entro le fasce di esposizione richieste dalla UE e con le grandezze europee di Lden ed Lnight. I ricettori sensibili sono: Scuola materna Felice Solaro con 50 occupanti a l'asilo nido il Grappolo con 30 occupanti.





I redattori del Piano esaminano il tipo di superamenti, le caratteristiche del traffico, le possibilità o impossibilità connesse ai diversi tipi di interventi e selezionano quelli ragionevolmente proponibili.

Le discussioni con l'amministrazione servono sia ad approfondire la ricerca, che ad entrare nei dettagli, applicativi e finanziari. Si passa alla fase finale di redazione, del Piano e dei documenti allegati, pubblicati sul sito del Comune per raccogliere le osservazioni dei cittadini. Dopo 45 giorni di esposizione le osservazioni vengono studiate, commentate e valutate. Nella relazione finale si spiegherà se e come si è tenuto conto delle osservazioni. La relazione finale con allegati verrà spedita al Ministero dell'Ambiente che controllato il materiale inviato da tutti i gestori, lo inoltra entro la fine dell'anno alla Unione Europea.

Per quanto riguarda gli interventi studiati, nel nostro caso si è partiti dalla esclusione del ricorso alle barriere fonoisolanti, non accettabili in ambito urbano. I rallentamenti sono possibili ma non dovunque. La stesura di asfalto drenante, che ha delle capacità fonoassorbenti, richiede una revisione dell'intero fondo stradale, pendenze, scarichi e simili, aumentando il proprio costo in modo importante. Inoltre, la sua efficacia a bassa velocità è modesta. Sono stati considerati gli interventi sui ricettori, ma l'approfondimento giuridico su tali interventi, ha lasciato però alcuni punti non certi. Non potendo basare un Piano su insicurezze giuridiche, l'idea è stata per il momento accantonata. Rimane l'organizzazione di una campagna di informazione e sensibilizzazione dei guidatori, che chiarisca i vantaggi, individuali e collettivi, della riduzione della velocità e del passaggio ad uno stile di guida dolce, privo di scatti, accelerate, frenate. Anche la generalizzazione dell'uso dei fari per avisare altre auto e pedoni, invece del segnalatore acustico, porta ad una diminuzione del rumore ambientale.

5. TEORIA ACUSTICA

Seguono alcuni accenni alle grandezze fisiche ed alla teoria acustica.

5.1 La quantità di energia irradiata da una sorgente sonora nell'unità di tempo è denominata potenza sonora P_w (W). La potenza sonora P_w emessa da una sorgente è irradiata nel mezzo elastico, come l'aria, attraverso una determinata superficie S (o fronte d'onda) come lavoro dovuto al prodotto della forza di pressione p per la velocità di spostamento delle particelle v intorno al punto di equilibrio. Con riferimento al modello di generazione sonora che ha portato alla formulazione delle relazioni (1.1) e (1.2), la potenza sonora P_w può quindi essere correlata alla pressione sonora dall'equazione: $P_w = p \cdot (p/\rho c) \cdot S = (p^2/\rho c) \cdot S$ (W) (2.1) Per una sorgente che irradia uniformemente in tutte le direzioni (mezzo isotropo), ovvero in





campo libero³, il fronte d'onda S è pari alla superficie di una sfera (v. figura 10); alla distanza r dalla sorgente la potenza sonora sarà dunque pari a: $P_w = (p^2/\rho c) 4 \pi r^2$

Sia P_w (W) la potenza sonora irradiata da una sorgente sonora su un fronte d'onda S (m^2), sussiste allora la seguente relazione tra potenza sonora e intensità sonora I : $I = P_w / 4 \pi r^2 = p^2/\rho c$ (W/m^2) (2.3) e quindi l'intensità è l'energia che, nell'unità di tempo, fluisce attraverso l'unità di area del fronte d'onda (v. figura 10). Mentre la frequenza discrimina la percezione dei suoni, ovvero il loro tono, da gravi (bassa frequenza) ad acuti (alta frequenza), analogamente l'intensità discrimina i suoni da deboli a forti. In campo libero, per la (2.3), si ha dunque la seguente relazione tra pressione sonora e intensità: $I = p \cdot v = p^2/\rho c$ (W/m^2) (2.4) e per la (2.1) si ha che la pressione sonora, in campo libero, risulta così legata alla potenza: $p = (P_w \rho c / 4 \pi r^2)^{1/2}$ (2.5) Dalle relazioni suddette si evince che, in campo libero, la pressione sonora e l'intensità diminuiscono con il quadrato della distanza r : per il suono nell'aria, quindi, quando la distanza raddoppia l'ampiezza si riduce della metà.

In acustica pertanto per le grandezze energetiche si usa adottare il livello sonoro espresso in decibel (dB) definito come il logaritmo decimale del rapporto tra il valore in esame ed il valore di riferimento. Si ha pertanto: livello di potenza sonora L_w : $L_w = 10 \lg P_w / P_0$ (dB) (3.1) dove P_w è la potenza sonora in esame (W) e P_0 la potenza sonora di riferimento ($10^{-12} W$) Livello di intensità sonora L_I : $L_I = 10 \lg I / I_0$ (dB) (3.2) dove I è l'intensità sonora in esame (W/m^2) e I_0 l'intensità sonora di riferimento ($10^{-12} W/m^2$) Livello di pressione sonora L_P : $L_P = 10 \lg p^2 / p_0^2 = 20 \lg p / p_0$ (dB) (3.3) dove p è la pressione sonora in esame (Pa) e p_0 la pressione sonora di riferimento ($2 \cdot 10^{-5} Pa$ = soglia di udibilità a 1000 Hz). Agli effetti pratici, per le grandezze di riferimento suddette, si dimostra che $L_I \cong L_P$ 4 .

Per la propagazione in campo libero, passando ai livelli, si ha che in un generico punto in campo libero, posto a distanza r da una sorgente puntiforme omnidirezionale, il livello di pressione sonora è desumibile dalla potenza sonora mediante la seguente relazione: $L_p = L_w - 10 \lg 4 \pi r^2 = L_w - 20 \lg r - 11$ (dB) (3.1.1) dove r è la distanza tra sorgente e ricevitore misurata in metri. Per superficie emisferica con sorgente ad esempio appoggiata su una superficie riflettente: $L_p = L_w - 10 \lg 2 \pi r^2 = L_w - 20 \lg r - 8$ (dB) (3.1.2) Il secondo termine delle suddette relazioni prende la denominazione di attenuazione per divergenza d'onda A_{div} , ed esprime il fatto che l'energia sonora si distribuisce su di un fronte d'onda avente superficie che aumenta con la distanza. Noto il livello di potenza sonora della sorgente, le relazioni suddette consentono quindi di prevedere il valore del livello di pressione sonora L_p alla distanza r ; trascurando altri effetti di dissipazione sonora si ha che ad ogni raddoppio della distanza sorgente-ascoltatore si dimezza l'ampiezza, ovvero il livello di pressione sonora o di intensità si riduce di 6 dB (legge





del campo libero): ad esempio se ci troviamo a distanza di 1 m da una sorgente e ci spostiamo a 2 m da essa, si ha una riduzione di 6 dB; spostandoci a 4 metri si ha una riduzione di 12 dB, a 8 m di 18 dB e così via. La condizione di campo libero presuppone l'assenza di superfici riflettenti ed ostacoli; tale situazione in pratica può essere ottenuta in laboratorio, nelle camere anecoiche, realizzate in modo da ridurre al minimo possibile l'energia riflessa dalle pareti delimitanti la camera (pareti fortemente assorbenti), o ponendosi sulla sommità di un'asta lontano da superfici riflettenti. Le suddette relazioni valgono per una singola sorgente puntiforme. Vi sono tuttavia delle situazioni quali le infrastrutture stradali, o sorgenti puntiformi in linea equivalenti ad una sorgente di tipo lineare (vedi figura 13) che modificano la relazione (3.1.2) nella seguente: $L_p = L_{wL} + 10 \lg [(a_1 - a_2)/r_0d] - 8$ (dB) (3.1.3) dove L_{wL} è il livello di potenza sonora per unità di lunghezza della sorgente lineare mentre a_1 e a_2 sono rispettivamente gli angoli (rad) entro i quali viene vista la sorgente lineare.

Grandezze psicoacustiche. La percezione dei suoni avviene per mezzo dell'orecchio, vero e proprio analizzatore acustico che converte le vibrazioni in messaggi codificati inviati al cervello, con un comportamento del tutto simile ad un convertitore analogico digitale. Il suono è percepito con caratteristiche psicosensoriali che possiamo riassumere nel tono, intensità di sensazione uditiva e nel timbro. Come accennato il tono (altezza tonale) è legato alla frequenza (bassa frequenza = toni gravi, alta frequenza = toni acuti); esso nel caso dei rumori ha poca importanza poiché questi sono generalmente a banda larga. L'intensità di sensazione uditiva è invece legata al livello di pressione sonora ed alla composizione spettrale del suono. Infine il timbro è legato anch'esso alla composizione spettrale del suono, e si riferisce alla capacità dell'orecchio di distinguere suoni identici per intensità ed altezza ma emessi da sorgenti diverse: ad es. da strumenti musicali diversi, la voce dell'uomo da quella della donna, ecc. Le grandezze fisiche finora illustrate sono atte a descrivere i vari fenomeni fisici che interessano l'acustica ambientale ma non danno alcuna indicazione in merito alla percezione soggettiva dei suoni, ed in particolare sulla intensità soggettiva o sonia che può essere attribuita ad un suono in una scala da debole a forte, né sugli effetti di disturbo delle sensazioni sonore. Analogamente a quanto avviene nel campo dell'illuminotecnica, dove il contenuto energetico di un fascio di onde elettromagnetiche non dà alcuna indicazione sulla sensazione luminosa che lo stesso produce una volta impressionata la retina, così nel campo dell'acustica il contenuto energetico di un evento sonoro, o meglio la distribuzione energetica del suono alle varie frequenze, non ci dà alcuna indicazione utile circa le sensazioni che tale energia provoca una volta che sia stimolato l'apparato uditivo umano. La correlazione esistente tra le caratteristiche fisiche di un suono e la sensazione di intensità soggettiva dalle stesse provocate, considerata l'infinita possibilità di combinazioni sonore, è stata indagata solo per i suoni puri. 21 In un diagramma, frutto di ricerche su gruppi di individui dotati di





udito normale (giurie sonore), definito "audiogramma normale medio per toni puri" si sono riportati in ascisse i livelli di pressione sonora in dB riferiti alla soglia di udibilità, ed in ordinata le varie frequenze in scala logaritmica (vedi figura 17). La costruzione dell'audiogramma è stata fatta assumendo un suono puro a 1000 Hz di riferimento; al variare delle frequenze la giuria sonora giudica quando la sonia del suono in esame è uguale a quella del suono di riferimento individuando così una serie di punti aventi eguale sonia: l'unione dei punti così ottenuti individua delle curve definite curve di isosensazione. L'esame dell'audiogramma mostra come varia la sensibilità dell'orecchio al variare delle frequenze per i toni puri. La valutazione numerica della sonia del suono in esame è rappresentato dal valore N espresso in Phon (o livello di sensazione sonora LSS) cui corrisponde la stessa sensazione sonora prodotta dal livello di pressione sonora N in dB del suono di riferimento a 1000 Hz: ad esempio esaminando l'audiogramma si vede che un suono puro avente un livello di pressione sonora pari a 50 dB a 250 Hz produce la stessa sensazione di intensità soggettiva di un suono di 85 dB a 31,5 Hz; a loro volta entrambi i suoni hanno lo stesso livello di intensità soggettiva pari a 50 Phon (50 dB a 1000 Hz). Dall'esame dell'audiogramma si evince che la massima sensibilità dell'orecchio si ha nella zona compresa tra 1000 e 6000 Hz, ed in particolare decresce sensibilmente al decrescere della frequenza: tutto questo ha notevoli conseguenze pratiche nel campo dell'acustica edilizia ed ambientale e sul controllo del rumore in generale.

Il dB(A). Sono state elaborate altre grandezze e tra queste quella di maggiore diffusione, soprattutto per la praticità di misurazione mediante un semplice fonometro, è quella del livello sonoro in dB (A). Il livello di pressione sonora LP(A) in dB (A) è diventata la grandezza psicoacustica base per esprimere le risposte soggettive degli individui ai rumori. Infatti, da numerosi studi è emersa la fortunata nonché fortunata combinazione che i livelli sonori ottenuti con un fonometro utilizzando un criterio di pesatura "A" esprimono con molta buona approssimazione l'effetto simultaneo di sonia e di disturbo di rumori qualunque sia il loro livello di pressione sonora: tale criterio consiste nella correzione dei livelli energetici in funzione della sensibilità dell'orecchio alle varie frequenze.

Il fonometro integratore, comunemente utilizzato per le misurazioni acustiche, effettua le operazioni suddette. Tale strumento è inoltre in grado di effettuare l'integrazione dei valori istantanei $(pA/p_0)^2$ nell'intervallo di tempo della misura: in tal modo si ottiene il valore della pressione sonora in dB (A) definito Livello continuo equivalente ponderato in scala "A", $Leq(A)$: $LAeqT = 10 \lg [1/T \int_0^T p^2A(t) / p_0^2 dt]$ dB (A).

Per comprendere meglio la propagazione del suono nella realtà urbanizzata, si deve tenere conto della presenza degli ostacoli, in particolare gli edifici, oltre ai dislivelli del terreno, del diverso assorbimento acustico delle superfici presenti (asfalto, erba, pareti, vetri e simili). Se semplifichiamo la rappresentazione dell'onda sonora come





un insieme di raggi, quando un raggio colpisce una superficie, parte della sua energia viene riflessa, mentre altra parte viene assorbita. La presenza di ostacoli e le caratteristiche delle superfici, influenzano perciò la propagazione del suono e la velocità della diminuzione dell'energia trasportata. I modelli matematici utilizzano algoritmi che si nutrono delle informazioni che il tecnico esperto sa loro dare. In questo modo si giunge al calcolo dei livelli sonori alle facciate degli edifici, note le caratteristiche delle sorgenti, nel nostro caso i veicoli in transito, suddivisi in leggeri e pesanti (questi oltre le 3,5 ton).

5.2 Il modello matematico previsionale.

È stato usato per calcolare i valori in facciata ante operam, la mappa dei conflitti, la determinazione delle facciate quiete. Si basa sui concetti e gli algoritmi riportati nel seguito. Il programma utilizzato per i calcoli di previsione della rumorosità dovuta alla strada (Immi 6.3), si serve del metodo del "ray tracing". Con questo metodo si contraddistingue una sorgente puntiforme, superficiale o, come nel nostro caso, lineare, attraverso l'utilizzo di un numero finito di raggi sonori emessi, con propagazione sferica. I raggi simulano la propagazione delle onde sonore.

Il campo acustico risultante, dipende dagli assorbimenti e dalle riflessioni contro il fondo stradale e gli ostacoli incontrati lungo il cammino, in modo analogo alla propagazione dell'ottica geometrica, compresi gli effetti di diffrazione al contorno dei solidi.

Ogni raggio porta con sé una parte dell'energia acustica della sorgente sonora. L'energia emessa viene perduta lungo il percorso per effetto dell'assorbimento delle superfici presenti, per divergenza geometrica e per assorbimento atmosferico. La diminuzione dell'energia per propagazione del suono in aria, è correlata alla dispersione di energia causata dalle collisioni delle molecole d'aria tra loro. Ogni collisione disperde una piccola parte dell'energia e provoca un numero sempre maggiore di collisioni.

Nell'area considerata di interesse per il calcolo, il campo acustico sarà il risultato della somma delle energie acustiche degli "n" raggi che giungono al ricevitore, determinando i livelli immessi in tutta l'area in esame. Si determinano anche i livelli in tutta l'area in esame, rappresentandoli con isofone colorate, a passi di 5 dB, alla quota convenzionale di 4 metri da terra.

Il modello matematico, fa riferimento alle normative internazionali sulla attenuazione del suono nell'ambiente esterno (ISO 9613 - 2).

Le norme ISO contengono una serie di formule che regolano la propagazione e permettono di calcolare il risultato nell'area in esame, con un'accuratezza nota.

Lo scopo di tale metodologia è la determinazione del **livello continuo equivalente ponderato A** della pressione sonora, come descritto nelle ISO 1996/1-2-3 per condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione del suono da sorgenti di potenza nota.





Si considera che tutti i ricettori si trovino sottovento alla sorgente, quindi nelle condizioni più sfavorevoli, come specificato dalla ISO 1996/2 (parte 5.4.3.3)

Le sorgenti di rumore più estese devono essere rappresentate da un insieme di sezioni, ognuna con una certa potenza sonora e direttività.

Un gruppo di sorgenti puntiformi può essere descritto da una sorgente puntiforme equivalente situata nel mezzo del volume complessivo, nel caso in cui:

- la sorgente abbia approssimativamente la stessa intensità ed altezza rispetto al terreno;
- la sorgente si trovi nelle stesse condizioni di propagazione verso il punto di ricezione;
- la distanza fra il punto rappresentativo e il ricevitore (d) sia maggiore del doppio del diametro massimo dell'area della sorgente (D) cioè $d > 2D$.

Se la distanza (d) è minore o se le condizioni di propagazione per i diversi punti della sorgente sono diverse, la sorgente totale deve essere suddivisa nei suoi punti componenti.

Le sorgenti lineari che rappresentano l'energia sonora emessa dal traffico, sono rappresentate da una linea posta a 50 cm da terra, dotata di caratteristiche di irraggiamento cilindriche.

Metodo di calcolo

Il **livello medio di pressione sonora** al ricevitore in condizioni di sottovento viene calcolato per ogni sorgente puntiforme (specifiche IEC 255) con:

$$L_{downwind} = L_{WD} - A$$

L_{WD} è il livello effettivo di potenza sonora nella direzione di propagazione

$L_{downwind}$ è definito come:

$$L_{downwind} = 10 \log \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 1 dt$$

Il fattore A è l'attenuazione che l'energia sonora subisce durante la propagazione ed è composta dai seguenti contributi:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{ground} + A_{refl} + A_{screen} + A_{misc}$$

dove:

A_{div} = Attenuazione dovuta alla divergenza geometrica





A_{atm} = Attenuazione dovuta all'assorbimento dell'aria

A_{ground} = Attenuazione dovuta all'effetto del suolo

A_{screen} = Attenuazione causata da effetti schermanti

A_{refl} = Attenuazione dovuta a riflessioni da parte di ostacoli

A_{misc} = Attenuazione dovuta ad altri effetti

La ponderazione A può essere applicata singolarmente ad ognuno dei suddetti contributi oppure, in un secondo momento, alla somma fatta per ogni banda di ottava.

Il livello continuo equivalente è il risultato della somma dei singoli livelli di pressione che sono stati ottenuti per ogni sorgente in ogni banda di frequenza (quando richiesta). Nel caso delle sorgenti lineari da traffico, gli archivi del modello forniscono i valori direttamente in dB(A).

Il livello effettivo di potenza sonora nella direzione di propagazione L_{WD} è dato dal livello di potenza in condizioni di campo libero L_w più un termine che tiene conto della direttività di una sorgente.

DC quantifica la variazione dell'irraggiamento verso più direzioni, di una sorgente direzionale in confronto alla medesima non-direzionale.

$$L_{WD} = L_w + DC$$

Per una sorgente puntiforme non direzionale il contributo di DC è uguale a 0 dB. La correzione DC è data dall'indice di direttività della sorgente DI più un indice K_0 che tiene conto dell'emissione in un determinato angolo solido.

Per una sorgente con radiazione sferica in uno spazio libero $K_0 = 0$ dB, quando la sorgente è vicina ad una superficie riflettente che non è il terreno $K_0 = 3$ dB, quando la sorgente è di fronte a due piani riflettenti perpendicolari, uno dei quali è il terreno $K_0 = 3$ dB, se nessuno dei due è il terreno $K_0 = 6$ dB, con sorgente di fronte a tre piani perpendicolari, uno dei quali è il terreno $K_0 = 6$ dB, con sorgente di fronte a tre piani riflettenti, nessuno dei quali è il terreno, $K_0 = 9$ dB.

Il termine di **attenuazione per divergenza** geometrica è valutabile teoricamente:

$$A_{div} = 20 \log (d/d_0) + 11$$

dove d è la distanza fra la sorgente e il ricevitore in metri e d_0 è la distanza di riferimento pari a 1 m.

L'assorbimento dell'aria è definito come:

$$A_{atm} = \alpha d / 1000$$





dove d è la distanza di propagazione espressa in metri, mentre α è il coefficiente di attenuazione atmosferica in dB/km.

Il coefficiente di attenuazione atmosferica dipende principalmente dalla frequenza del suono, dalla temperatura ambientale e dall'umidità relativa dell'aria e solo in misura minore dalla pressione atmosferica

L'attenuazione dovuta all'effetto suolo consegue dall'interferenza fra il suono riflesso dal terreno e il suono che si propaga imperturbato direttamente dalla sorgente al ricevitore. Per questo metodo di calcolo, la superficie del terreno fra la sorgente e il ricevitore dovrà essere piatta, orizzontale o con una pendenza costante. In alternativa si dovrà disegnare nel modello una spezzata che riproduca nel modo più accurato possibile, le variazioni delle pendenze.

Distinguiamo tre principali regioni di propagazione: la regione della sorgente, la regione del ricevitore e quella intermedia. Ciascuna di queste zone può essere descritta con un fattore legato alle specifiche caratteristiche di riflessione.

Il metodo per il calcolo delle attenuazioni del terreno può far uso di una formula più semplificata, legata semplicemente alla distanza d tra ricevitore e sorgente e all'altezza media dal suolo del cammino di propagazione h_m :

$$A_{ground} = 4,8 - (2 h_m / d)(17 + (300/d))$$

Il termine di **attenuazione per riflessione** si riferisce a quelle superfici più o meno verticali, come le facciate degli edifici, che determinano un aumento del livello di pressione sonora al ricevitore. Le riflessioni determinate dal terreno non vengono prese in considerazione.

Un termine importante, utilizzato nelle metodologie di calcolo previsionale, è **l'attenuazione dovuta alla presenza di ostacoli** (schermo, barriera o dossi poco profondi).

La barriera deve essere considerata una superficie chiusa e continua senza interruzioni. La sua dimensione orizzontale perpendicolare alla linea sorgente-ricevitore deve essere maggiore della lunghezza d'onda λ alla frequenza di centro banda per la banda d'ottava considerata.

Per gli standard a disposizione l'attenuazione dovuta all'effetto schermante sarà data dalla "insertion loss", ovvero dalla differenza fra i livelli di pressione misurati al ricevitore in una specifica posizione con e senza la barriera.

Vengono tenuti in considerazione gli effetti di diffrazione dei bordi della barriera (barriere spesse). Quando si è in presenza di più di due schermi si scelgono i due schermi più efficaci e si trascurano gli altri.

Il termine di **attenuazione mista** terrà conto dei diversi contributi dovuti a molteplici effetti:

- attenuazione dovuta a propagazione attraverso fogliame;





- attenuazione dovuta alla presenza di insediamenti di grandi dimensioni, per diffrazione dovuta ai diversi edifici o installazioni presenti;
- attenuazione dovuta alla propagazione attraverso un insediamento urbano, per effetto schermante o riflettente delle case.

L'accuratezza del calcolo previsionale, considerati tutti gli elementi in gioco, può essere valutata in +/- 2 dB.

6. PRIORITA' DI INTERVENTO

Ogni ente responsabile di infrastrutture, per scegliere dove realizzare i primi interventi, deve seguire le prescrizioni del D.M. Ambiente del 29/11/2000. Tale decreto si riferisce a singoli edifici e fornisce il modo per contare i ricettori utilizzando dei coefficienti.

$$P = \sum_i \left[R_i \cdot (L_i - L_i^*) \right]$$

La formula utilizzata è :

Dove L_i^* è il valore limite di immissione per l'area in esame, mentre L_i è il livello continuo di pressione sonora, nel periodo di riferimento, prodotto dalle infrastrutture nella medesima area.

Ai fini del calcolo di P , per gli ospedali, le case di cura e di riposo, il numero R_i (totalità dei posti letto), deve essere moltiplicato per il coefficiente 4; per le scuole, il numero (misurato o stimato) R_i (totalità degli alunni), deve essere moltiplicato per 3

In sintesi al numero dei degenti degli ospedali e case di riposo, è applicato un coefficiente 4. Al numero degli alunni delle scuole è applicato un coefficiente 3. Al numero degli abitanti di edifici, è applicato il coefficiente 1.

Il meccanismo privilegia quindi i ricettori sensibili.

La documentazione da inviare al Ministero ed alla UE, richiede che l'indice di priorità sia stabilito fra le strade gestite. Nel nostro caso la strada è una sola, quindi l'elenco di priorità non è applicabile.

7. AZIONI DI MITIGAZIONE

Sono stati studiati i possibili effetti dei numerosi metodi esistenti per la mitigazione delle emissioni o delle immissioni negli ambienti.

Sono stati quasi tutti ritenuti non applicabili: le barriere in ambito urbano non sono accettate dalla popolazione e limitano la circolazione dell'aria davanti alle case; gli asfalti





drenanti, di costo elevato, possono produrre una riduzione di 3 dB e dopo circa 5 anni, la loro efficacia è tornata a zero; la velocità di percorrenza dei mezzi, la cui riduzione produce spesso buoni risultati, è già a 50 km/h e non è pensabile istituire un'area con il limite di velocità a 30 km/h fuori da un centro storico, in presenza di mezzi pesanti.

Metodi che possono essere valutati solo nel lungo periodo sono: la riduzione della rumorosità dei veicoli, legata alle progressive diminuzioni previste dalla normativa europea; l'inserimento nel regolamento edilizio di norme premianti per chi costruisca edifici con facciate fonoassorbenti, in particolare quando si prospettino su strade a canyon, con altri edifici di fronte a breve distanza.

Le azioni di mitigazione scelte e programmate per i prossimi 5 anni, riguardano una o più campagne di sensibilizzazione ed informazione sui pericoli della velocità, anche per la sicurezza, e per i danni da inquinamento acustico.

Il risultato di queste azioni verrà verificato con monitoraggi acustici. Si potrà quindi valutare l'efficacia delle azioni intraprese, correggendo gli interventi, se necessario.

Nel 2022 sarà eseguita una nuova mappatura, i cui risultati dovranno essere consegnati alla UE. Sarà una verifica del lavoro di 4 anni nella direzione della diminuzione dei livelli sonori in corrispondenza delle facciate delle abitazioni che si affacciano sulla strada citata all'inizio.

8. ESPOSTI POST OPERAM

Per valutare gli esposti post operam si deve considerare l'efficacia degli interventi programmati. L'efficacia sarà misurabile dopo un tempo di uno o di due anni come controllo. Misure fonometriche di controllo ci potranno dare la misura esatta del risultato e degli eventuali scostamenti da quanto atteso.

La previsione è di una diminuzione di 1 o 2 dB(A), in funzione delle posizioni di misura, tratto aperto, incroci, attraversamenti pedonali. Prudenzialmente indichiamo una diminuzione media di 1 dB(A).

Qui di seguito i risultati ottenuti:

Parametro	Intervallo - dB(A)	Esposti
Lden	50-54	400
	55-59	500
	60-64	200
	65-69	300
	70-74	300
	>75	0
Lnight	45-49	400
	50-54	600





	55-59	100
	60-64	500
	65-69	100
	>70	0

9. RAPPORTO COSTO / EFFICACIA

Si considera che la campagna possa avere effetto sul 70% dei guidatori in transito, che consideriamo in gran parte ripetitivi. Si stima che il minor numero di sbalzi dei regimi di rotazione dei motori, frenate più dolci, eliminazione dell'uso del segnale acustico, possano portare ad una diminuzione di 1 o 2 dB(A). Se prudenzialmente consideriamo che la campagna fornisca una diminuzione media di 1 dB, si può calcolare un indice di efficacia che tenga conto del costo, del numero di dB guadagnati e del numero di cittadini.

Dal piano finanziario risulta un costo di € 18.000, per 1 dB e per 1.800 cittadini.

Quindi $18.000/1 \times 1/1.800 = 10,00 \text{ € / dB / cittadino}$.

10. CONCLUSIONI

La strada studiata in applicazione della Direttiva europea e del decreto legislativo 194/05 e s.m.i., sopporta soprattutto traffico di attraversamento. I guidatori sono perciò in piccola parte cittadini del Comune. La finitezza del territorio, e la presenza del Parco delle Groane, non permettono di pensare a tangenziali.

Per i motivi sopra descritti, sono stati scartati tutti i metodi di mitigazione tradizionali, come barriere, asfalti e simili.

Il Piano d'azione è lo stesso per tutte le strade coinvolte, rivolto alla generalità dei guidatori che utilizzano quelle strade. È rivolto ad attirare l'attenzione sullo stile di guida e sugli effetti che esso ha sulla sicurezza stradale e sulle emissioni di rumore. Sarà condotto con messaggi di vario tipo e indicatori di velocità.

Il tempo adatto per la valutazione dei risultati ed i dettagli del Piano, saranno determinati nel corso della progettazione esecutiva di piani d'Azione.

