



**COMUNE DI CASTELLANZA  
CODICE IDENTIFICATIVO UNIVOCO GESTORE: 0094  
PROVINCIA DI VARESE**

**RELAZIONE DESCRITTIVA EX D.LGS. 194**

**PIANI D'AZIONE 2018**

**SETTORE AMBIENTE**

REDAZIONE : STUDIO DI ACUSTICA DE POLZER SRL

SOMMARIO

- 1. INTRODUZIONE GENERALE**
- 2. RIFERIMENTI GIURIDICI**
  - 2.1 LIMITI IN VIGORE**
- 3. LE RAGIONI DELL'ACUSTICA**
- 4. PROCEDURE E TECNICHE**
- 5. TEORIA ACUSTICA**
  - 5.1 Il modello matematico previsionale.**
- 6. DESCRIZIONE DELLE SORGENTI DI RUMORE CONSIDERATE e gli esposti al rumore ANTE OPERAM**
- 7. AZIONI DI MITIGAZIONE**
- 8. ESPOSTI POST OPERAM**
- 9. CONCLUSIONI**

Castellanza, maggio 2018

## 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.

## 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"

### 2.1 LIMITI IN VIGORE

L'analisi dei risultati della mappatura acustica non permette di valutare quali siano le criticità attribuibili alle infrastrutture stradali poiché ci si basa su descrittori acustici temporali differenti dai limiti di legge nazionali vigenti. E' stato quindi necessario valutare gli esposti al rumore soggetti a livelli sonori dalle fasce di pertinenza stradali con i relativi descrittori Leq diurno (Leqday ) e Leq notturno (Leqnight).

Il DPCM del 14/11/1997 fissa i valori obiettivo di qualità da conseguire e i limiti massimi relativi al clima acustico in funzione del punto di misura (sia in prossimità della sorgente che del recettore). Per le sorgenti indagate trattandosi di strade Dal punto di vista delle infrastrutture, nella tabella seguente sono riportati i limiti, in termini di Leqday e Leqnight previsti dal D.P.R. 142/04 per le strade esistenti in funzione della tipologia di strada:

**Tabella 2-3: Limiti relativi alle fasce di pertinenza stradale per le infrastrutture esistenti D.P.R. 142/04**

TIPO DI STRADA (secondo codice della strada)	SOTTOTIPIAFINI ACUSTICI (Secondo norme CNR 1980 e direttive PUT)	Ampiezza fascia di pertinenza acustica) (m)	Scuole <sup>1</sup> , ospedali, case di cura e di riposo		Altri ricettori	
			Diurno dB(A)	Notturno dB(A)	Diurno dB(A)	Notturno dB(A)
A - autostrada		100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
B - extraurbana principale		100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
C - extraurbana secondaria	<b>Ca</b>	100 (fascia A)	50	40	70	60
	(strade a carreggiate separate e tipo IV CNR 1980)	150 (fascia B)			85	55
	<b>Cb</b>	100 (fascia A)	50	40	70	60
	(tutte le altre strade extraurbane secondarie)	50 (fascia B)			65	55
D - urbanadi scorrimento	<b>Da</b>	100 (strade a carreggiate separate e interquartiere)	50	40	70	80
	<b>Db</b>	100 (Tutte le altre strade urbane di scorrimento)	50	40	65	55
E - urbana di quartiere		30	definita dai Comuni, nel rispetto dei valori riportati in tabella C allegata al D. P. C. M. in data 14 novembre 1997 e comunque in modo conforme alla zonizzazione acustica delle aree urbane, com'è prevista dall'art. 8, comma 1, lettera a), della legge n. 447 del 1985.			
F - locale		30				

### **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, Motherwell).

E' 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**

Le procedure di redazione dei Piani, successivi alla mappatura, prevedono l'elaborazione dei dati della mappatura, anche confrontando i valori in facciata con i limiti acustici nazionali. Si genera una tavola grafica detta "dei conflitti" nella quale vengono evidenziati i ricettori edilizi, con una codifica individuale. A parte una tabella riporterà l'entità del superamento.

Lo scopo della mappa è di fornire dati sul numero totale di persone esposte al rumore, con superamenti, per formare un elenco di priorità di intervento tra le diverse infrastrutture gestite dal Comune.

Ciò nel caso di interventi fisici quali rallentatori, asfalti e simili.

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 studiati gli interventi sui ricettori, analizzando le caratteristiche fonoisolanti di tutti i serramenti delle facciate esposte degli edifici con superamenti. Fissate le proprietà in tre grandi gruppi, isolate le abitazioni con serramenti di cattiva qualità è stato stimato il numero degli interventi di sostituzione dei serramenti ed il relativo costo. L'approfondimento giuridico degli interventi sui ricettori, ha lasciato però alcuni punti non certi. Non potendo basare un Piano su insicurezze giuridiche, l'idea è stata per il momento accantonata. Sono rimasti in gioco la costruzione di altri passaggi pedonali elevati, oltre a quelli già esistenti e 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 avvisare 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:  $P_w = p \cdot (p/\rho c) \cdot S = (p^2/\rho \cdot c) \cdot S$  (W) (2.1) Per una sorgente che irradia uniformemente in tutte le direzioni (mezzo isotropo), ovvero in campo libero<sup>3</sup>, 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) 12 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  $n$  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  $(p_A/p_0)^2$  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",  $L_{AeqT}$ :  $L_{AeqT} = 10 \lg [1/T \int_0^T p^2_A(t) / p_0^2 dt ]$  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).

### 5.1 Il modello matematico previsionale.

E' 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  $\alpha$  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  $\lambda$  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 DESCRIZIONE DELLE SORGENTI DI RUMORE CONSIDERATE

### e gli esposti al rumore ANTE OPERAM

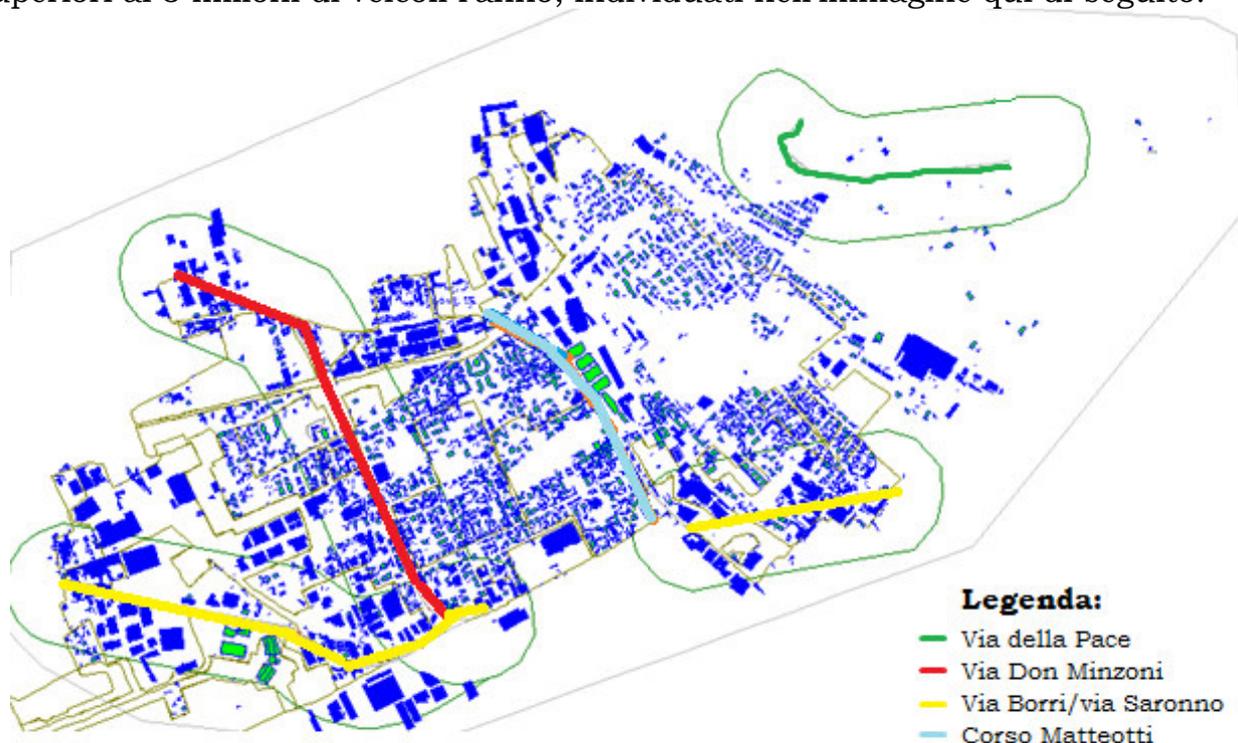
Gli esposti, tenendo conto dei risultati della mappatura, sono così riassunti, con il proprio codice univoco assegnato ed un a mappa che ne chiarisce la collocazione del territorio.

L'analisi dei risultati della mappatura acustica non permette di valutare quali siano le criticità attribuibili alle infrastrutture stradali poiché ci si basa su descrittori acustici temporali differenti dai limiti di legge nazionali vigenti.

E' stato quindi necessario valutare gli esposti al rumore soggetti a livelli sonori dalle fasce di pertinenza stradali con i relativi descrittori Leqday e Leqnight.

Si fa presente che i livelli sonori presso gli edifici scolastici non comportano superamenti dei limiti diurni e ciò è dovuto alla loro distanza rispetto alle infrastrutture analizzate e i superamenti dei limiti notturni, per legge, non vengono valutati.

Il comune di Castellanza è attraversato da quattro strade con flussi veicolari superiori ai 3 milioni di veicoli l'anno, individuati nell'immagine qui di seguito:



#### **Via della Pace – (codice univoco identificativo: IT\_a\_rd0094001):**

l'asse stradale si sviluppa a nord-est del comune e collega il comune di Marnate al comune di Rescaldina, è lungo 1,015 km ed è composto da unica carreggiata a due corsie per i due sensi di marcia. Per a caratterizzazione dei flussi di transito sono stati utilizzati i dati di flusso della provincia di Varese ricavati dalla conta traffico di centraline posizionate lungo alcune tratte delle strade provinciali di propria pertinenza, come la SP 19, al di fuori del comune di Castellanza.

La strada ha un transito medio diurno di 17388, serale di 1276, notturno di 1408 veicoli. Dal sopralluogo eseguito i flussi tenuto in considerazione

appaiono sovrastimati al reale utilizzo della strada, sarà necessario, in fase di redazione del PUT una puntuale verifica dell'effettivo passaggio di veicoli. Il numero di abitanti esposti al rumore della strada è 197, i ricettori studiati sono 12.

Non attraversa il centro abitato e gli edifici più prossimi sono di carattere commerciale che fanno da schermo alle abitazioni retrostanti.

**Via Don Minzoni (codice univoco identificativo: IT\_a\_rd0094002):**

l'asse stradale si sviluppa a ovest del comune di Castellanza attraversandolo per il suo intero da nord a sud, è lungo 1,970 km ed è composto da unica carreggiata a due corsie per i due sensi di marcia. È interessato dal transito medio diurno di 9246, serale di 406, notturno di 547 veicoli. Il numero di abitanti esposti al rumore della strada è 3172, i ricettori studiati sono 396.

Ricettori sensibili: Scuola di Via San Giovanni.

**Via Giuseppe Borri - via Saronno (codice univoco identificativo: IT\_a\_rd0094003):**

l'asse stradale si sviluppa a sud del comune di Castellanza attraversandolo da ovest a est, è lungo 2,592 km ed è composto da unica carreggiata a due corsie per i due sensi di marcia. È interessato dal transito medio diurno di 9800, serale di 1000, notturno di 1256 veicoli. Il numero di abitanti esposti al rumore della strada è 3452, i ricettori studiati sono 290.

Ricettori sensibili: ISIS Facchinetti

**Corso Matteotti (codice univoco identificativo: IT\_a\_rd0094004):**

l'asse stradale si sviluppa lungo il centro del comune di Castellanza attraversandolo per il suo intero da nord a sud, è lungo 1,112 km ed è composto da unica carreggiata a due corsie per i due sensi di marcia. È interessato dal transito medio diurno di 8428, serale di 604, notturno di 648 veicoli. Il numero di abitanti esposti al rumore della strada è 4837, i ricettori studiati sono 438.

Ricettori sensibili: Università Carlo Cattaneo

La parte a nord di Corso Matteotti, nel congiungersi con Don Minzoni è denominata Strada Statale 33 (rappresentato in giallo nell'immagine seguente), non è stata valutata per la mancanza di dati certi di flusso di traffico e loro distribuzione agli incroci. Si possono fare delle considerazioni in termini acustici: la presenza delle rotatorie comporta un rallentamento del traffico; inoltre in prima schiera sono presenti numerosi capannoni, che non sono considerati ricettori ma ostacolano la propagazione del suono verso le abitazioni. Le poche residenze per l'arrotondamento chiesto dalla Direttiva UE, il numero degli esposti diventerebbe pari a zero; sarebbe consigliabile un monitoraggio per evitare che aumentino il numero degli edifici esposti ed il livello emesso.



## 7 AZIONI DI MITIGAZIONE

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.

Queste azioni verranno programmate per i prossimi 5 anni e verificate 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 sulle strade citate all'inizio.

La tabella seguente riporta invece gli esposti nelle diverse fasce di livello sonoro

Parametro	Intervallo - dB(A)	Via della Pace IT_a_rd0094001	Via Don Minzoni IT_a_rd0094002	Via Borri/Saronno IT_a_rd0094003	Corso Matteotti IT_a_rd0094004
Lden	55-59	0	400	200	600
	60-64	0	200	200	100
	65-69	0	200	200	400
	70-74	0	0	0	0
	>75	0	0	0	0
Lnight	45-49	0	400	200	600
	50-54	0	300	200	100
	55-59	0	100	200	400
	60-64	0	0	100	100
	65-69	0	0	0	0
	>70	0	0	0	0

Lo zero riportato per via della Pace, deriva dal criterio di arrotondamento contenuto nelle istruzioni per la compilazione. Il numero deve essere arrotondato a 100. Quindi i numeri fino a 49, vengono arrotondati al centinaio inferiore, dal 50 a quello superiore. Fino a 49 esposti sono per la UE pari a zero.

## **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 e 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).

Trattandosi di azioni generali, non puntate su specifici ricettori, i cittadini esposti che fruiranno dei risultati delle mitigazioni, sono tutti quelli riportati nella tabella alla pagina precedente, solo un piccolo numero potrà passare alla fascia di esposizione inferiore.

## **9 CONCLUSIONI**

Le strade studiate in conseguenza della Direttiva europea e del decreto legislativo 194/05 e s.m.i., sono strade che sopportano soprattutto traffico di attraversamento. I guidatori sono perciò in piccola parte cittadini del Comune. Alcune di queste strade portano anche percentuali importanti di traffico pesante, come la maggior parte dei comuni dell'area a nord di Milano. La finitezza del territorio, non permette 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. E' 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.