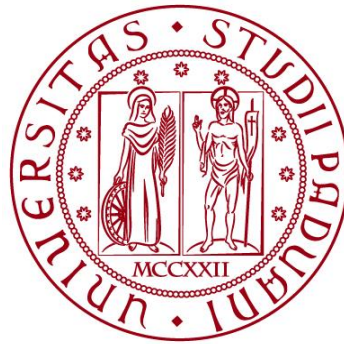


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE  
*Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering*

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio



**TESI DI LAUREA**

**TECNICHE E METODOLOGIE DI RILEVAMENTO  
ACUSTICO PER SUCCESSIVA VALUTAZIONE DI IMPATTO  
ACUSTICO STRADALE**

**Relatore: Chiar.mo PROF. ALBERTO MIRANDOLA**

**Laureando: GIACOMO CIPOLLA**

**ANNO ACCADEMICO 2021-2022**

# **INDICE**

## **1 introduzione**

### 1.1 Il suono

1.1.1. L'inquinamento acustico

1.1.2. Obbiettivo dell'elaborato

1.1.3. Quadro normativo di riferimento

1.1.1.1. Decreto del presidente del Consiglio dei ministri del 14 novembre 1997

1.1.1.2. Decreto del Ministero dell'Ambiente del 16 marzo 1998

1.1.1.3. Decreto del presidente della repubblica del 30 marzo 2004 n. 142

1.1.1.4. D.lgs. 19 marzo 2005

## **2 Materiali e metodi**

1.1. Descrizione delle infrastrutture stradali oggetto di studio

1.2. Realizzazione della cartografia

1.3. Campagne di rilievo

1.1.1.1. Rilievi fonometrici

1.1.1.2. Rilievi dei flussi di traffico

1.4. Modellizzazione matematica

1.5. Stima della popolazione investita

## **3 Conclusioni**

1.1. Possibili soluzioni tecniche

## **Bibliografia e sitografia**

# 1 Introduzione

## 1.1 Il suono

Il suono è una perturbazione di carattere oscillatorio che si propaga in un mezzo elastico, con una frequenza convenzionalmente variabile tra i 20 Hz e i 20000 Hz. Tale campo di variabilità corrisponde statisticamente alla gamma di frequenze udibili dall'uomo (Zandegiacomo, elementi di acustica). Per frequenze inferiori a questo range si parla di infrasuoni, per frequenze superiori si parla di ultrasuoni. Un oggetto che vibra alla propria frequenza comprime lo strato d'aria circostante il quale trasmetterà questa variazione locale di pressione agli strati via, via, più lontani. Si genera in questo modo un treno di onde con frequenza pari a quella dell'oggetto vibrante.

Il suono, pertanto, si propaga con onde di pressione. Qualora si tratti di tono puro, l'andamento della propagazione è sinusoidale e si possono definire tre grandezze caratteristiche principali:

- Ampiezza dell'onda: definisce la potenza del suono, in altri termini il suo "volume". A suoni più potenti corrisponde un picco di variazione di pressione più alto e viceversa per suoni meno potenti.
- Lunghezza dell'onda: definita dalla distanza che separa due picchi successivi.
- Frequenza dell'onda: è il numero di oscillazioni in un secondo.

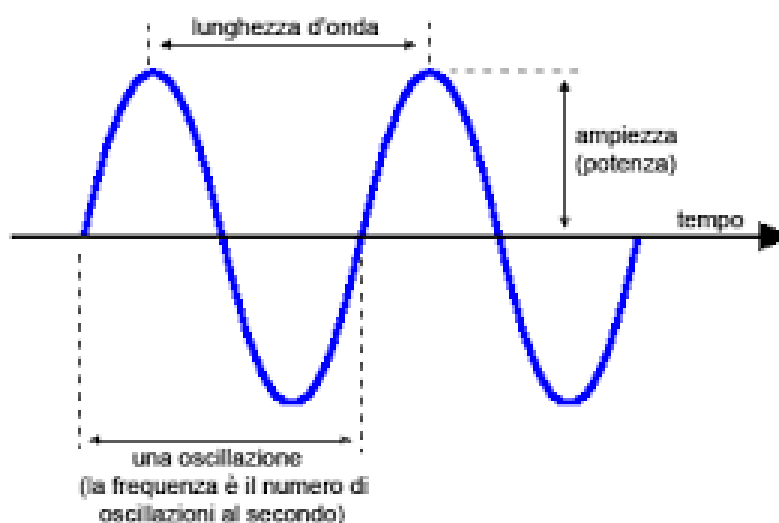


Figura 1 - rappresentazione del tono puro con le relative caratteristiche (sito internet)

Usualmente, per quantificare la sensazione sonora percepita dall'uomo, non si utilizza l'ampiezza dell'onda di pressione sonora espressa in Pa (pascal), ma si è soliti convertire tale valore nella scala logaritmica dei dB (decibel), definendo così il Livello di Pressione Sonora (SPL, Sound Pressure Level). Studi fatti nel passato però hanno evidenziato come, al variare della frequenza sonora, la sensazione uditiva dell'uomo cambia, mettendo in luce problemi di tipo pratico nella sua misurazione.

In questo senso, un importante contributo alla ricerca fu quello del fisico statunitense Harvey Fletcher, che elaborò per via sperimentale le cosiddette curve isofoniche, ossia delle curve, funzioni della frequenza, lungo le quali la percezione umana del suono rimane invariata.

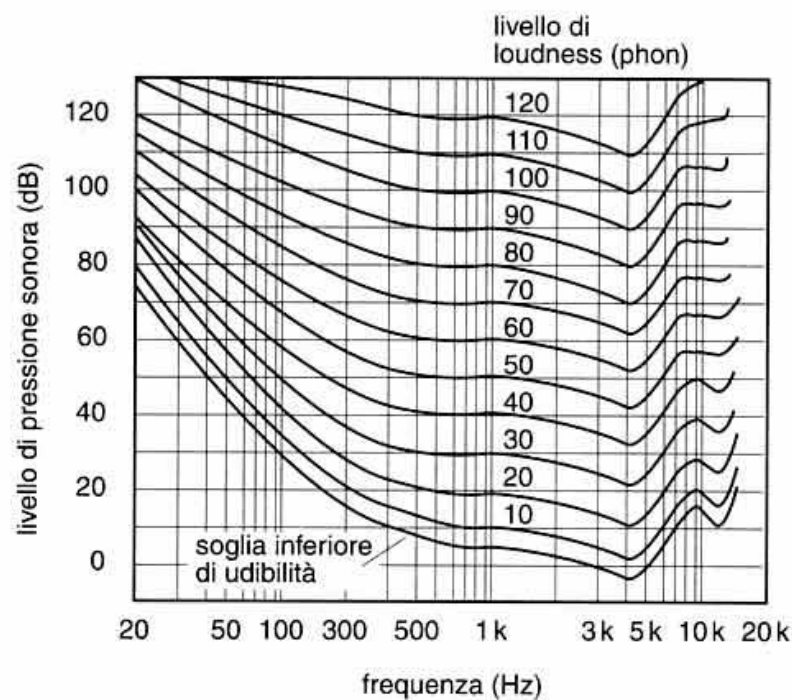


Figura 2 - Curve isofoniche di Fletcher per la determinazione della percezione umana al suono (sito internet)

I problemi nella misurazione della percezione uditiva nell'uomo non furono del tutto risolti, questo condusse la comunità scientifica ad elaborare delle cosiddette curve di ponderazione A, B e C, le quali approssimano le isofoniche di Fletcher e che vengono riprodotte direttamente negli strumenti di misura tramite tre filtri.

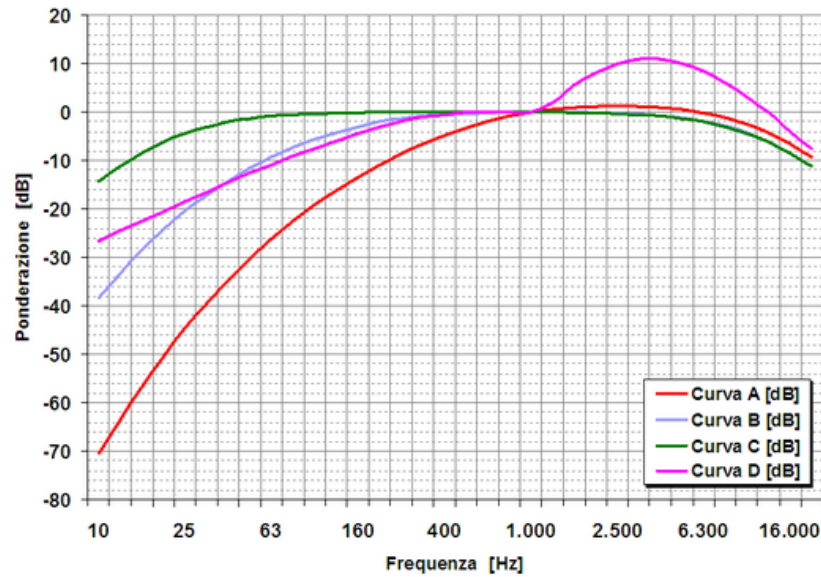


Figura 3 - curve di ponderazione (sito internet)

Si vide che la curva A si prestava bene a valutare gli effetti di disturbo o la probabilità di danno che un rumore produce sull'uomo. Per questo motivo essa è stata accolta nelle normative internazionali, mentre le altre due curve sono praticamente cadute in disuso. Ecco che allora da dB (decibel) si passa a parlare di dB(A).

## 1.2 L'inquinamento acustico

Come le altre forme di inquinamento che conosciamo, anche quello acustico vede la sua nascita durante la prima rivoluzione industriale, con una notevole impennata durante il secondo dopo guerra. Pertanto, negli anni Novanta del secolo scorso, si è ritenuto necessario dare forma ad un quadro legislativo che potesse regolarlo, fino a dargli una definizione univoca e assoluta. Con inquinamento acustico, dunque, si intende «l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno o tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi». (Legge quadro sull'inquinamento acustico del 26 ottobre 1995, n. 447).

Gli studi svolti sopra questo fenomeno, infatti, hanno presto evidenziato effetti negativi sulla salute, fisica e psichica, dell'uomo e su quella degli animali. Negli esseri umani, l'inquinamento acustico – se particolarmente intenso e prolungato nel tempo – può addirittura causare una perdita parziale o totale dell'udito. Può contribuire ad aggravare problemi

cardiovascolari come l'ipertensione, può causare forte stress, ansia, depressione, aggressività, disturbi antisociali e disturbi del sonno. Negli animali, l'eccessivo inquinamento acustico potrebbe portare al completo disorientamento e alla consecutiva morte del singolo esemplare e, in casi estremi, anche all'estinzione di una specie che non riesce più a condurre una vita regolare nel suo habitat naturale, ormai compromesso. (Gruppo Hera, "Inquinamento acustico: cos'è e cosa rischiamo?").

All'interno del contesto cittadino, l'inquinamento acustico ha diverse forme di provenienza:

- Traffico ferroviario: limitato alle zone di passaggio delle ferrovie e alle zone circostanti alle stazioni dei treni.
- Traffico aereo: come il precedente, limitato alle zone limitrofe agli aeroporti.
- Traffico veicolare: è causato dai mezzi di trasporto cittadini e rappresenta la principale fonte di disagio acustico per gli abitanti della città. L'emissione sonora proveniente da tale fonte può essere suddivisa in due principali contributi:
  1. Rumore generato dal rotolamento degli pneumatici sull'asfalto.
  2. Rumore di propulsione generato dalle vetture.

### **1.3 Obiettivo dell'elaborato**

L'approccio ad uno studio acustico stradale viene effettuato facendo riferimento principalmente alla direttiva 2002/49/CE del parlamento europeo e del consiglio del 25 giugno 2002 relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale. Questa definisce «un approccio comune volto ad evitare, prevenire o ridurre, secondo le rispettive priorità, gli effetti nocivi, compreso il fastidio, dell'esposizione al rumore ambientale» e determina le azioni progressive da attuare per raggiungere tale scopo. Nello specifico il lavoro si compone di due parti:

- Mappatura acustica: viene realizzata sulla base di metodi di determinazione comuni agli stati membri e ha lo scopo di ritrarre lo stato dell'arte per quanto riguarda i livelli di rumorosità nelle zone limitrofe alle strade oggetto di studio.
- Piano d'azione: realizzato sulla base dei risultati della mappatura acustica, si compone di tutte le strategie adottate dagli stati nell'eventuale riqualificazione acustica e/o al mantenimento delle condizioni di rumorosità dove queste sono buone.

Nello specifico, la seguente relazione ha lo scopo di descrivere la metodologia utilizzata nel compimento della prima delle due fasi appena descritte, l'elaborazione della "mappatura

acustica”. Essa è consistita, in breve, nella creazione di un modello acustico tridimensionale del territorio e nell’inserimento delle sorgenti infrastrutturali che lo compongono, con i relativi dati geometrici e di traffico. A tale scopo si è fatto uso del software di simulazione specifico denominato SoundPlan e si è fatto riferimento al codice di calcolo “CNOSSUS-EU”, definito dalla normativa europea come standard di riferimento per tutti gli stati membri. Il modello è stato quindi costruito sulla base di risultati ottenuti in seguito ad un’adeguata campagna di rilevamenti fonometrici in situ e ha permesso di realizzare le mappe dei livelli sonori lungo le infrastrutture di interesse.

#### **1.4 Quadro normativo di riferimento**

Allo stato attuale, per quanto concerne la gestione del rumore prodotto da traffico veicolare, sono vigenti le seguenti disposizioni di legge:

- 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.M. 16 marzo 1998, “Tecniche di rilevamento e di misurazione dell’inquinamento acustico”
- D.M. 29 novembre 2000, “Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore”
- D.P.R. 30 marzo 2004, n. 142 “Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell’inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare”
- Decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 194 “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale”
- D.Lgs. 17 Febbraio 2017, n. 42 - Disposizioni in materia di armonizzazione della normativa nazionale in materia di inquinamento acustico, a norma dell'articolo 19, comma 2, lettere a), b), c), d), e), f) e h) della legge 30 ottobre 2014, n. 161

Per la realizzazione della mappatura acustica si è fatto riferimento in particolare a:

- Decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 194 “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale”
- European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN) “Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure” – Version 2 - 13th January 2006.

- Linee Guida sulla Predisposizione e consegna della documentazione digitale relativa alle mappature acustiche e mappe acustiche strategiche (D. Lgs. 194/05) emanate dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
- D.Lgs. 17 febbraio 2017, n. 42 - Disposizioni in materia di armonizzazione della normativa nazionale in materia di inquinamento acustico

Di seguito si riportano sinteticamente i contenuti di alcuni passi della normativa appena elencata.

#### **1.4.1 Decreto del presidente del Consiglio dei ministri 14 novembre 1997**

Per ogni classe di destinazione d’uso del territorio, stabilisce i valori limite assoluti di immissione per le infrastrutture stradali e ferroviarie esternamente alle fasce di pertinenza.

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

*Tabella 1 - classi di destinazione d'uso del territorio con relativi limiti acustici di riferimento (STEAM S.r.l., relazione tecnico descrittiva generale)*

#### **1.4.2 Decreto del 16 marzo 1998 del Ministero dell’ambiente**

Stabilisce le modalità di misurazione del rumore ambientale entrando in modo specifico in questioni tecniche relative alla strumentazione e alle procedure di misura.



### 1.4.3 Decreto 30 marzo 2004 n. 142 del presidente della repubblica

Definisce l'ampiezza delle fasce di pertinenza acustica delle infrastrutture di traffico stradale e i relativi limiti di riferimento, a seconda della tipologia di strada. Propone due differenti tabelle che valgono, rispettivamente, per strade di nuova realizzazione (ossia le infrastrutture per le quali il progetto definitivo non è stato ancora approvato alla data di entrata in vigore di tale decreto) e per quelle già esistenti.

TIPO DI STRADA	SOTTOTIPI A FINI ACUSTICI	Ampiezza fascia di pertinenza (m)	Ricettori sensibili		Altri ricettori	
			Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)	Diurno dB(A)	Notturmo 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	50
		150 (fascia B)			65	55
C - extraurbana secondaria	Ca	100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
	Cb	100 (fascia A)	50	40	70	60
		50 (fascia B)			65	55
D - urbana di scorrimento	Da	100	50	40	70	60
	Db	100	50	40	65	55
E - urbana di quartiere		30	definiti dai comuni nel rispetto della normativa vigente			
F - locale		30				

Tabella 2 - Ampiezza fasce di pertinenza per varie tipologie di strade di nuova generazione

TIPO DI STRADA	SOTTOTIPI A FINI ACUSTICI	ampiezza fascia di pertinenza (m)	recettori sensibili		altri recettori	
			Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)	Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)
A - autostrada		250	50	40	65	55

B - extraurbana principale		250	50	40	65	55
C - extraurbana secondaria	c <sub>1</sub>	250	50	40	65	55
	c <sub>2</sub>	150	50	40	65	55
D - urbana di scorrimento		100	50	40	65	55
E - urbana di quartiere		30	definiti dai comuni nel rispetto della normativa vigente			
F - locale		30				

Tabella 3 - Ampiezza fasce di pertinenza per varie tipologie di strade di vecchia realizzazione

Per i ricettori interni alle fasce di pertinenza acustica, devono essere individuate e realizzate opere di mitigazione sulla sorgente del rumore, lungo la via di propagazione e, qualora non fossero possibili le due azioni appena descritte, direttamente sul ricettore interessato.

#### 1.4.4 D.lgs. 19 agosto 2005

Volto ad attuare la direttiva europea 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale. Nello specifico, stabilisce i descrittori acustici da utilizzare ai fini dell'elaborazione e analisi della mappatura acustica.

$$- L_{den} = 10 \log \left( \frac{14 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 2 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}}}{24} \right); \text{ è il livello continuo equivalente}$$

a lungo termine ponderato A relativo all'intera giornata

- L<sub>day</sub> è il livello continuo equivalente a lungo termine ponderato A relativo al periodo dalle 06:00 alle 20:00;
- L<sub>evening</sub> è il livello continuo equivalente a lungo termine ponderato A relativo al periodo dalle 20:00 alle 22:00;
- L<sub>night</sub> è il livello continuo equivalente a lungo termine ponderato A relativo al periodo dalle 22:00 alle 06:00;

## 2. Materiali e metodi

### 2.1 Descrizione delle infrastrutture stradali oggetto di studio

La mappatura acustica realizzata fa riferimento esclusivamente alle strade che presentavano, al momento dell'analisi, un numero di veicoli annui transitanti superiori alle 3.000.000 di unità e in gestione a Veneto Strade S.p.A. con riferimento all'anno 2021. Pertanto, un primo passaggio del lavoro è stato quello di svolgere un censimento e una descrizione delle strade di interesse, riportando, nella tabella che segue, alcuni dati utili all'adempimento della commessa.

Codifica		Area oggetto studio	PK tratta oggetto studio		Estensione [m]	Classificazione strada		Flussi di traffico [veic/anno]	Larghezza indicativa piattaforma stradale [m]
			Iniziale	Finale		secondo codice della strada	sottotipo ai fini acustici		
IT_a_rd0179001	SR 10 "Padana Inferiore"	Tangenziale di Legnago	332+200	337+100	4.9	C	Ca	4.520.000	10,50
IT_a_rd0179002	SR 11 "Padana Superiore"	da Torri di Quartesolo a Padova loc. Brentelle	360+700	380+086	19.386	C	Cb	7.350.000	9,50
IT_a_rd0179003	SR 47 "di Altichiero"	da Padova Sud ad Altichiero	0+000	9+200	9.2	C	Ca	23.000.000	16,00
IT_a_rd0179004	SR 515 "Noalese"	da Scorzé a Vigonza	16+000	39+510	23.51	C	Cb	6.620.000	7,50
IT_a_rd0179005	SR 14 "di Mestre"	da SS13 a SS14 a Mestre	0+000	5+000	5	C	Ca	9.300.000	19,00
IT_a_rd0179006	SR 450 "di Affi"	da rotatoria Cavalcaselle (SR 11) ad Affi	0+000	13+300	13.3	C	Ca	12.400.000	18,50
IT_a_rd0179007	SR 245 VAR "Variante di Castelfranco"	Variante di Castelfranco	32bis+000	35bis+750	3.75	C	Ca	6.800.000	19,50
IT_a_rd0179008	SR 53 "Postumia"	da Castelfranco Veneto a Paese;	33+400	55+500	21.8	C	Cb	7.200.000	7,50
IT_a_rd0179009		Tangenziale di Treviso;	55+000	64+500	9.5	C	Ca	12.430.000	21,00

IT_a_rd017901 0		da Silea a Oderzo;	64+500	85+340	<b>20.84</b>	C	Cb	8.000.000	7,50
		Var. Oderzo (SR 53 VAR);	0+000	3+080	<b>3.08</b>	C	Ca	3.000.000	10,50
		da Oderzo a Portogruaro.	88+180	115+300	<b>27.12</b>	C	Cb	6.200.000	7,50
IT_a_rd017901 1	SR 348 "Feltrina"	da Cornuda a Montebelluna	03+100	23+300	<b>20.2</b>	C	Cb	8.300.000	8,00
			23+300	26+450	<b>3.15</b>		Ca		10,50
IT_a_rd017901 2	SR 89 "Treviso Mare"	da Treviso a Meolo	0+000	17+482	<b>17.482</b>	C	Cb	10.000.000	9,50
IT_a_rd017901 3	SR 308 "Nuova del Santo"	da Padova a Castelfranco Veneto	0+000	27+572	<b>27.572</b>	C	Ca	7.400.000	10,50
IT_a_rd017901 4	SR 10	SR10 "Padana Inferiore" km 306+718 - km 330+500	306+718	330+500	<b>19.642</b>	C	Cb	4.500.000	9,50
IT_a_rd017901 5	SR 10 "Padana Inferiore"	SR10 "Padana Inferiore" km 339+450 - km 372+000	339+450	372+000	<b>30.94</b>	C	Cb	4.500.000	9,50
IT_a_rd017901 6	SR 11 "Padana Superiore"	da Peschiera del Garda a Verona Loc. Bassone	2+900	294+000	<b>21.62</b>	C	Cb	4.800.000	9,50
IT_a_rd017901 7	SR 11 "Padana Superiore"	da San Martino Buon Albergo (VR) a Vicenza Loc. Creazzo	313+850	348+450	<b>29.115</b>	C	Cb	4.200.000	9,50
IT_a_rd017901 8	SR 11 "Padana Superiore"	da Ponte di Brenta (PD) a Venezia	390+800	425+892	<b>27.161</b>	C	Cb	5.400.000	9,50
IT_a_rd017901 9	SR 43 "del Mare"	da Caposile (VE) a Jesolo (VE)	9+600	20+490	<b>10.89</b>	C	Cb	12.400.000	10,50
IT_a_rd017902 0	SR 43 VAR "del Mare"	Jesolo (VE)	0+000	2+995	<b>2.995</b>	C	Cb	750	10,50
IT_a_rd017902 1	SR 515 "Noalese"	da Quinto di Treviso (TV) a Scorzè (VE)	3+980	15+900	<b>11.92</b>	C	Cb	6.000.000	9,50
IT_a_rd017902 2	SR 515 VAR "Variante di Noale"	Noale (VE)	0+000	3+100	<b>3.1</b>	C	Cb	3.200.000	10,50
IT_a_rd017902 3	SR 515 VAR2 "Variante di Scorzè"	Scorzè (VE) - Martellago (VE)	0+000	2+970	<b>2.97</b>	C	Cb	3.000.000	10,50
IT_a_rd017902 4	SR 516 "Piovese"	da Piove di Sacco (PD) ad Adria (RO)	19+570	46+100	<b>25.53</b>	C	Cb	4.300.000	10,50
IT_a_rd017902 5	SR 104 "Monselice - Mare"	da Monselice (PD) a Treponti (RO)	0+000	27+800	<b>27.8</b>	C	Cb	5.000.000	10,50

IT_a_rd017902 6	SR 105 "Cavarzere - Romea"	dalla Romea a Cavarzere (VE)	0+000	6+337	6.337	C	Cb	4.000.000	10,50
--------------------	-------------------------------------	------------------------------------	-------	-------	-------	---	----	-----------	-------

Tabella 4 - descrizione delle infrastrutture stradali aventi flusso di traffico che supera le 3.000.000 di veicoli all'anno (STEAM S.r.l., relazione tecnico descrittiva generale)

## 2.2 Realizzazione della cartografia

Per la modellizzazione matematica è stata creata una cartografia digitale 3D della zona limitrofa all'asse delle strade interessate a partire dalla CTR, ossia la Carta Tecnica Regionale, fornita dal Portale Cartografico Regionale, in scala 1:5000. Si è ottenuto un piano quotato del territorio e la tracciatura degli edifici che lo compongono con relativa georeferenziazione. La carta è relativa a voli compiuti tra gli anni 1993 e 2007, pertanto è stato necessario aggiornarla tramite l'utilizzo di software GIS.

Successivamente, grazie all'utilizzo di applicativi online come Google Maps e Google Earth, si è potuto stabilire la destinazione d'uso e il numero di piani degli edifici presenti sul territorio, elementi necessari al successivo calcolo della popolazione investita, e la presenza e tipologia delle barriere acustiche già presenti. Questa analisi si è svolta in una zona di ampiezza 250 m per lato rispetto all'asse stradale.

I ricettori individuati, ossia gli edifici abitativi in corrispondenza dei quali si può manifestare più concretamente l'eventuale disturbo da rumore, vengono classificati, ai sensi della normativa vigente, in due categorie:

- Edifici abitativi: case e condomini.
- Edifici sensibili: edifici per i quali, a giudicare dalla loro destinazione d'uso, vengono stabiliti limiti più stringenti (scuole, ospedali, case di cura).

## 2.3 Campagne di rilievo

La necessità di tarare il modello matematico ha portato allo svolgimento, da parte di personale tecnico competente, di campagne di rilievo fonometrico e di flussi del traffico, in corrispondenza di alcuni ricettori collocati a ridosso delle tratte stradali oggetto della mappatura.

Per ciascuna postazione di misura sono stati ricavati i valori giornalieri e i valori medi settimanali con riferimento ai seguenti parametri:

- $L_{day}$ , livello continuo equivalente a lungo termine ponderato A relativo al periodo dalle 06:00 alle 20:00;
- $L_{evening}$ , livello continuo equivalente a lungo termine ponderato A relativo al periodo dalle 20:00 alle 22:00;
- $L_{night}$ , livello continuo equivalente a lungo termine ponderato A relativo al periodo dalle 22:00 alle 06:00;
- $L_{den}$ , livello continuo equivalente a lungo termine ponderato A relativo all'intera giornata;
- Traffico orario medio e velocità medie day;
- Traffico orario medio e velocità medie evening;
- Traffico orario medio e velocità medie night;

### **2.3.1 Rilievi fonometrici**

La misurazione del rumore è stata effettuata seguendo le direttive contenute nel decreto del Ministero dell'Ambiente del 16 marzo 1998.

Sono state effettuate rilevazioni in continuo per la durata di una settimana in condizioni di normale circolazione del traffico.

Per effettuare tali misurazioni viene utilizzato un fonometro. Viene collocato ad 1 m di distanza dalla facciata del ricettore e a quota 3.5 m da terra, con il microfono rivolto verso la sorgente del rumore e dotato di cuffia antivento, per poter escludere l'influenza delle condizioni metereologiche. La presenza di un apposito filtro all'interno dello strumento permette l'acquisizione dei livelli equivalenti di pressione sonora automaticamente ponderati con curva di ponderazione A.



Figura 4 - Esempio di installazione del fonometro sulla facciata del ricettore

Per ogni tratta stradale è stato realizzato un grafico che permette di visualizzare l'andamento dei livelli di rumorosità registrati nell'arco della settimana di misurazione e una tabella che sintetizza i risultati dei rilievi. Qui sotto sono riportati un esempio per ciascun elemento nominato.

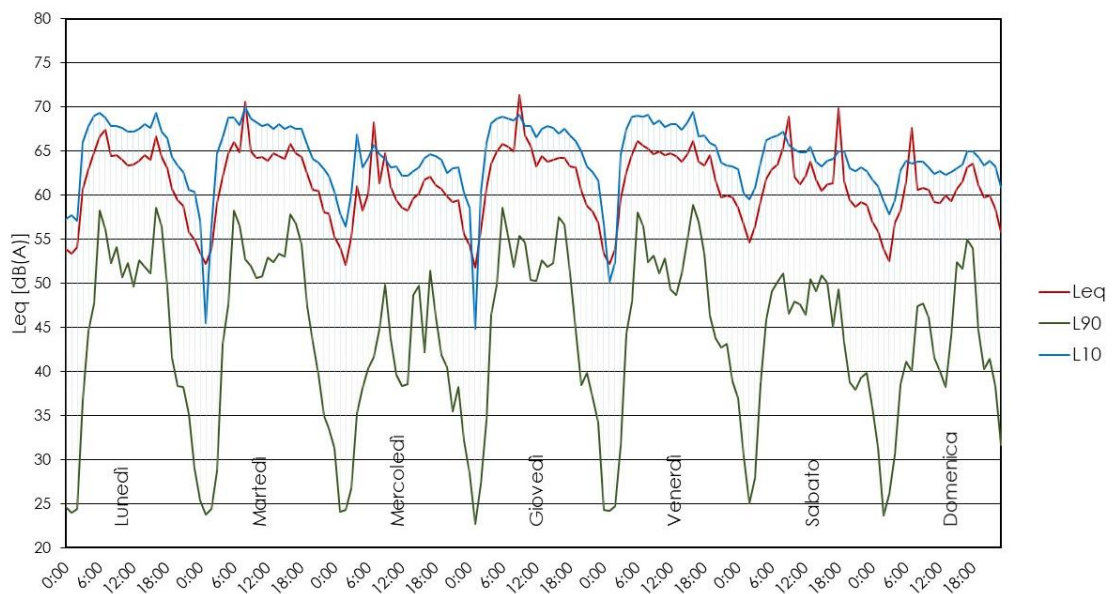


Grafico 1 - Esempio di andamento settimanale dei valori di pressione sonora registrati (STEAM S.r.l.)

Codice	Durata	Lday [6:00-20:00]	Levening [20:00-22:00]	Lnotturno/Lnight [22:00-06:00]	Lden [6:00-6:00]
SR10_RR01	settimanale	64,4	61,3	58,2	66,2

Tabella 5 - Riassunto dei valori di rumorosità registrati (STEAM S.r.l.)

### 2.3.2 Rilievi dei flussi di traffico

Per la classificazione e la conta dei veicoli transitanti sono stati adoperati tre rilevatori di traffico con sensore radar Doppler bidirezionale posti ai lati delle strade da monitorare. Ogni rilevatore è posto ad un'altezza variabile tra 0.5 m e 1.2 m dal piano stradale ed è impostato per registrare la velocità, la lunghezza e la distanza temporale tra due veicoli successivi. L'acquisizione di tali dati viene effettuata in continuo per la durata di una settimana contemporaneamente alla registrazione dei dati di rumore.



Figura 5 - Esempio di installazione del rilevatore di traffico

Di seguito si riporta un esempio di tabella che riassume i dati ottenuti per quanto concerne il flusso di veicoli transitanti e la loro velocità media.



TOTALE entrambe le direzioni																
	[6:00-22:00]				[22:00-06:00]				[6:00-20:00]				[20:00-22:00]			
	Veicoli leggeri [veh/h]	Veicoli medio pesanti [veh/h]	Veicoli pesanti [veh/h]	Due ruote [veh/h]	Veicoli leggeri [veh/h]	Veicoli medio pesanti [veh/h]	Veicoli pesanti [veh/h]	Due ruote [veh/h]	Veicoli leggeri [veh/h]	Veicoli medio pesanti [veh/h]	Veicoli pesanti [veh/h]	Due ruote [veh/h]	Veicoli leggeri [veh/h]	Veicoli medio pesanti [veh/h]	Veicoli pesanti [veh/h]	Due ruote [veh/h]
Valore Medio Settimanale	494	75	122	7	103	18	23	0	514	78	135	7	352	55	36	3

Tabella 6 - Valori medi settimanali di flusso di traffico registrati su una strada di esempio (STEAM S.r.l.)

TOTALE entrambe le direzioni																
	[6:00-22:00]				[22:00-06:00]				[6:00-20:00]				[20:00-22:00]			
	Veicoli leggeri [km/h]	Veicoli medio pesanti [km/h]	Veicoli pesanti [km/h]	Due ruote [km/h]	Veicoli leggeri [km/h]	Veicoli medio pesanti [km/h]	Veicoli pesanti [km/h]	Due ruote [km/h]	Veicoli leggeri [km/h]	Veicoli medio pesanti [km/h]	Veicoli pesanti [km/h]	Due ruote [km/h]	Veicoli leggeri [km/h]	Veicoli medio pesanti [km/h]	Veicoli pesanti [km/h]	Due ruote [km/h]
Valore Medio Settimanale	76	75	71	55	85	79	75	11	76	75	70	57	78	78	72	46

Tabella 7 - Valori medi settimanali di velocità su una strada di esempio (STEAM S.r.l.)

## 2.4 Modellizzazione matematica

Come detto, il modello si basa sui dati ottenuti dalle campagne di misurazione dei livelli di emissione sonora e dei dati di traffico. Per la determinazione delle mappe acustiche è stato fatto uso del software SoundPLAN vers. 8.2.

Attraverso la cartografia a disposizione viene definita la geometria delle sorgenti sonore, delle singole superfici schermanti o riflettenti (facciate degli edifici, barriere acustiche etc.), della orografia del terreno e degli ostacoli naturali presenti nell'area in esame.

Successivamente si associano a ciascuna sorgente di rumore tutti i dati necessari a descriverne l'emissione sonora (nel caso in esame si definisce la pendenza della strada, la tipologia della pavimentazione, il flusso veicolare transitante, la tipologia e le dimensioni dei veicoli che la attraversano etc.). A tale scopo è di fondamentale importanza la presenza, all'interno del software, di un database, proveniente da campagne di misurazione sperimentale, che permette di definire la tipologia di emissione sonora per ogni veicolo.

Al termine del calcolo si ottengono griglie di valori che verranno successivamente impiegati nell'elaborazione delle mappe acustiche vere e proprie. Per ogni strada verrà presentata una mappa per il periodo diurno, che fa riferimento al descrittore acustico  $L_{den}$ , e una per il periodo notturno, facente riferimento al descrittore acustico  $L_{night}$ . Di seguito presentiamo due esempi.

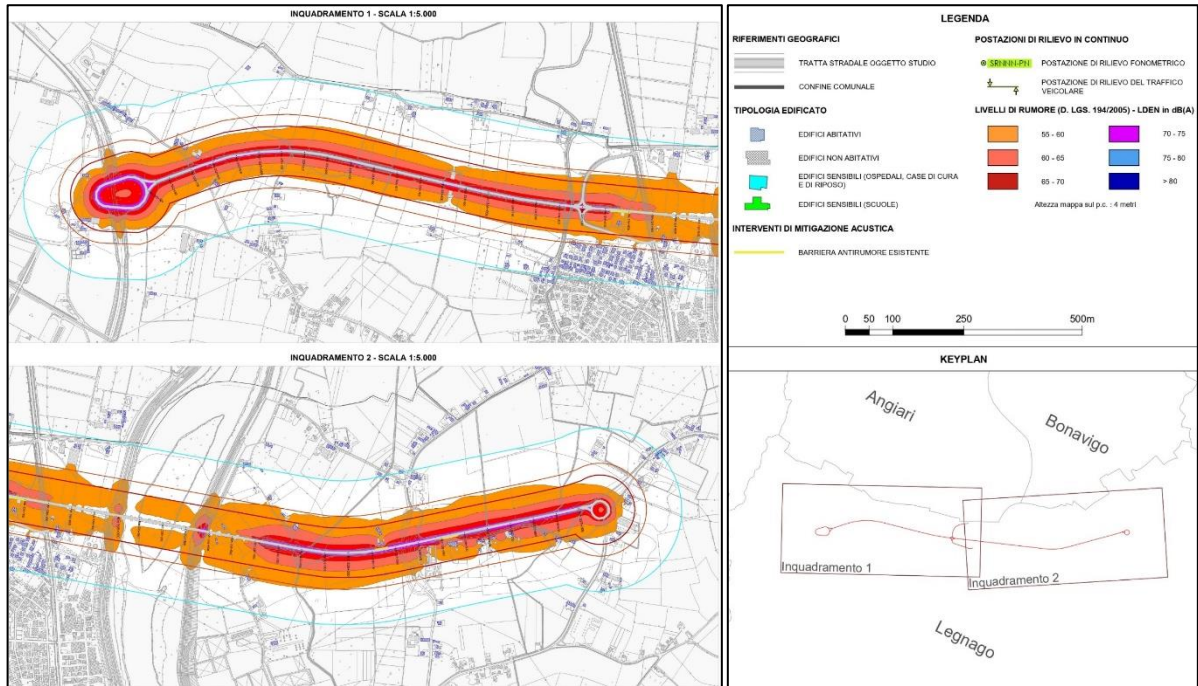


Figura 6 – Esempio mappa acustica diurna (STEAM S.r.l.)

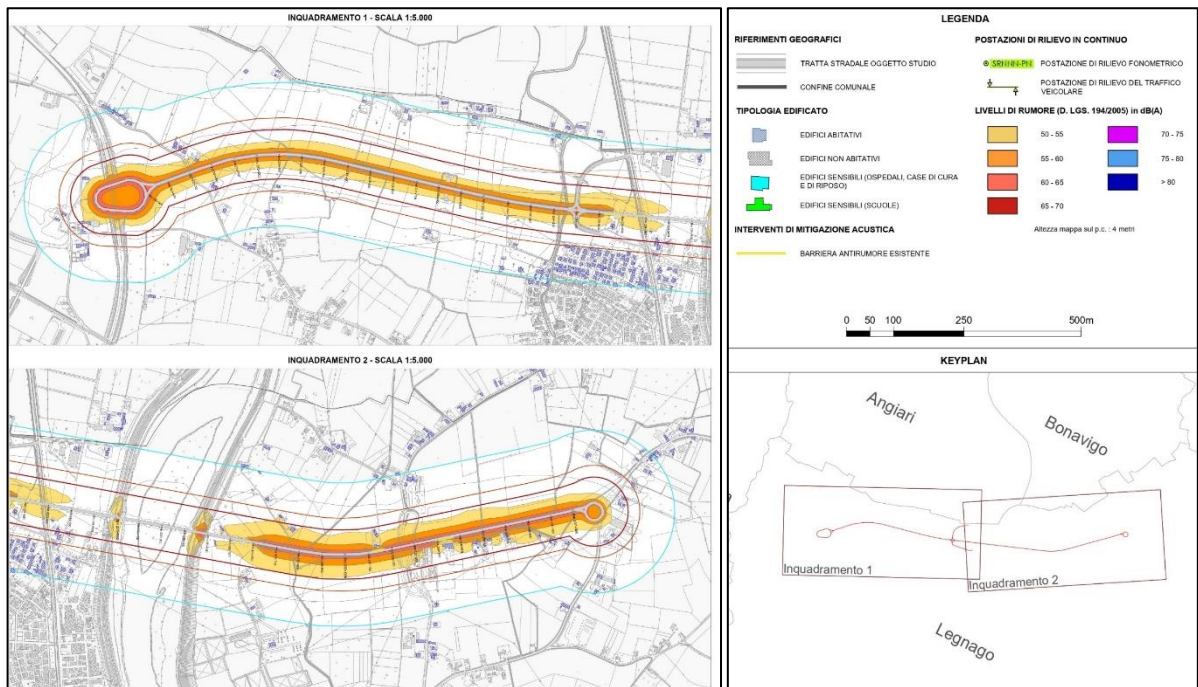


Figura 7 – Esempio mappa acustica notturna (STEAM S.r.l.)

Rappresentazioni di questo tipo vengono dette anche “mappe isofoniche” dal momento che permettono di visualizzare le aree attorno all’asse stradale investite dallo stesso range di livello di pressione sonora, evidenziandole con lo stesso colore.

## **2.5 Stima della popolazione investita**

Non essendo disponibili i dati che permettessero di calcolare il numero esatto di abitanti investiti, è stata svolta una stima procedendo come segue (STEAM Srl, Relazione tecnico descrittiva generale):

- Tramite software GIS, si è determinata la superficie di ciascun edificio in corrispondenza del quale è stato ubicato il punto  $i$ -esimo di calcolo ( $A_i$ );
- Calcolo della superficie totale associata a ciascun edificio ( $S_i$ ) ottenuto moltiplicando  $A_i$  per il numero di piani dell’edificio;
- Calcolo della popolazione esposta al livello  $L_i$  (livello immesso sull’ $i$ -esimo punto di calcolo), pari al numero di abitanti dell’ $i$ -esimo edificio considerato:
  - Per edifici residenziali, è ottenuto dividendo la superficie  $A_i$  per l’indice demografico medio nazionale, pari a circa 1 abitante ogni 33 m<sup>2</sup> di superficie utile;
  - Per gli edifici scolastici, stimato in 7.5 m<sup>2</sup>/utente altrimenti, se noto, pari al numero effettivo di usufruenti;
  - Per edifici ospedalieri, stimato in 50 m<sup>2</sup>/utente altrimenti, se noto, pari al numero effettivo di usufruenti;

## **3 Conclusioni**

Ottenuti i risultati di interesse per ogni strada, quindi le mappe acustiche, e svolto un adeguato calcolo della popolazione interessata dall’eventuale disturbo da rumore, sarà necessario compiere delle considerazioni ed analisi per poi poter elaborare la seconda fase della commessa, il piano d’azione.

### **3.1 Soluzioni tecniche**

Pertanto, laddove il livello di pressione sonora superi i limiti di riferimento per quella zona, sarà opportuno identificare delle possibili soluzioni tecniche volte a mitigare la condizione di

rumorosità registrata. Qui di seguito viene riportata una breve descrizione di tre possibili interventi attuabili:

- Barriere acustiche: sono composte da elementi fonoisolanti e fonoassorbenti e installate lungo i lati dei tratti stradali, in corrispondenza dei punti in cui si registra il superamento dei limiti vigenti.
- Asfalto fonoassorbente: Si tratta di un tipo di asfalto il cui conglomerato ha proprietà drenanti e fonoassorbenti, poiché realizzati con un materiale molto poroso, prodotto grazie all'inserimento di particolari polimeri all'interno dell'impasto del bitume. Grazie alla sua caratteristica porosità è in grado di assorbire le vibrazioni sonore (<https://www.motorimagazine.it/asfalto-fonoassorbente-cose-funzione>).
- Interventi sul ricettore: Sono effettuati qualora non fosse possibile attuare una delle prime due alternative. Consistono nell'applicazione di cosiddette contropareti fonoassorbenti in corrispondenza delle facciate esposte alla sorgente del rumore.

## **Bibliografia e sitografia**

- Valentina Battilocchi, Giulia Lorenzani, 2016
- Gruppo Hera, “Inquinamento acustico: cos’è e cosa rischiamo?”
- Zandegiacomo, “Elementi di acustica”
- Legge 26 ottobre 1995, n. 447, “Legge Quadro sull’inquinamento acustico”
- STEAM S.r.l., “Relazione tecnico descrittiva generale”
- <https://www.motorimagazine.it/asfalto-fonoassorbente-cose-funzione>