

COMUNE DI TORINO



TRANVIE DI TORINO - LINEA 4

**MODIFICA DEL CAPOLINEA DI FALCHERA CON LA REALIZZAZIONE
DI UN ANELLO DI RITORNO**

**PROGETTO DI FATTIBILITA'
TECNICO ECONOMICA**



IL PROGETTISTA

STAZIONE
APPALTANTE

Ing. F. Calamusa
Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Torino
n. B131

R.U.P. GTT
Geom. A. Bazzan

**RELAZIONE VALUTAZIONE IMPATTO
ACUSTICO**

ELABORATO

REV.

int.

est.

SCALA

DATA

TT04FAC0FAMBGENR007

0

0

07/06/2024

AGGIORNAMENTI

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.	VISTO
00	EMISSIONE	06/2024	PMe	Faz/FRI	FCa	ABa

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

CSP

Infr. tranviaria e computi: Geom. P. Massaglia
Impianti di trazione: P.I. I. Giammo'
Rilievi: Geom. P. Massaglia; Geom. G. Macri

Geologia e archeologia: Dott. S. Strippoli
Ambiente: Dott.ssa P. Merafina
Sicurezza e cantieri: Ing. F. Cocito; Arch. L. Rizzo
Strutture: Ing. E. Cadamauro; Ing. P. DeMartini
Sis. Superficiali: Arch. D. Lamberti

Ing. F. Cocito

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
1.1	Scopo e campo di applicazione con sintesi delle opere previste.....	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2.1	Legge 447/95 "Legge quadro sull'inquinamento acustico"	5
2.2	Il DPCM 14/11/1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore"	5
2.2.1	<i>Valori limite di emissione sonora</i>	6
2.2.2	<i>Valori limite di immissione sonora</i>	7
2.2.3	<i>Valori limite differenziali di immissione sonora</i>	7
2.3	Il DPCM 16/3/1998 "Tecniche di rilevamento e misurazione dell'inquinamento acustico"	7
2.4	La DGR 9-11616.....	8
2.5	Il Regolamento Comunale per la tutela dall'inquinamento acustico	8
2.6	Parere Ministero dell'Ambiente a riguardo della applicabilità dei limiti differenziali di immissione sonora alle linee tranviarie urbane	8
3	AREA DI STUDIO E RICETTORI DI RIFERIMENTO	9
3.1	Zonizzazione acustica della Città di Torino e limiti acustici di riferimento ai ricettori	10
4	MISURAZIONI FONOMETRICHE SUL TERRITORIO DELL'AREA DI STUDIO E DEFINIZIONE DEI LIVELLI SONORI DI RIFERIMENTO "ANTE OPERAM" AI RICETTORI	10
4.1	Risultati dei rilievi fonometrici.....	11
5	MODELLIZZAZIONE ACUSTICA DEL TERRITORIO	11
5.1	Elementi e dati di input utilizzati per la modellizzazione acustica	12
5.2	Applicazione del ray-tracing alla propagazione del campo sonoro	12
5.2.1	<i>Sintesi dell'algoritmo di calcolo</i>	12
6	VALUTAZIONE PREVISIONALE DELLE FUTURE IMMISSIONI SONORE DEI TRANSITI TRANVIARI	15
6.1	Definizione dello spettro sonoro di progetto per i transiti delle vetture tranviarie.	15
6.1.1	<i>Orari di previsto esercizio della linea con indicazione della stima del tempo effettivo di transito dell'insieme delle vetture tranviarie su base oraria</i>	15
6.1	Risultati dei calcoli acustici previsionali.....	16

	TRANVIE DI TORINO – LINEA 4 Modifica capolinea Falchera con anello di ritorno RELAZIONE VALUTAZIONE DI IMPATTO ACUSTICO	Pag. 2 di 19
		REV. 00

7. SINTESI E CONCLUSIONI 17

ALLEGATO N.1 SCHEDE TECNICHE DI MISURA DEL RUMORE E CERTIFICATI DI TARATURA DELLA STRUMENTAZIONE FONOMETRICA..... 18

ALLEGATO N.2 TAVOLE GRAFICHE ILLUSTRATIVE..... 19

1 PREMESSA

1.1 *Scopo e campo di applicazione con sintesi delle opere previste*

La presente relazione riporta i risultati dello studio previsionale d’impatto da vibrazioni finalizzato alla definizione delle migliori soluzioni progettuali utili per il contenimento del possibile disturbo da vibrazioni e da rumore indotto per via strutturale nell’ambito della progettazione di fattibilità tecnica ed economica del capolinea Falchera Linea 4 - GTT.



Figura 1. Vista 3D dell’area di studio.

La linea 4 presenta attualmente un capolinea nord in linea che sarà sostituito, nell’ambito degli interventi di potenziamento ed ampliamento della rete tranviaria, con un anello di ritorno in un’area adibita a verde pubblico prossima al capolinea attuale. Lo studio previsionale d’impatto acustica fa riferimento al futuro esercizio di questo specifico anello di ritorno utile per consentire alle nuove vetture monodirezionali di percorrere la linea 4 medesima.

Un estratto degli elaborati progettuali è riportato nella figura seguente:

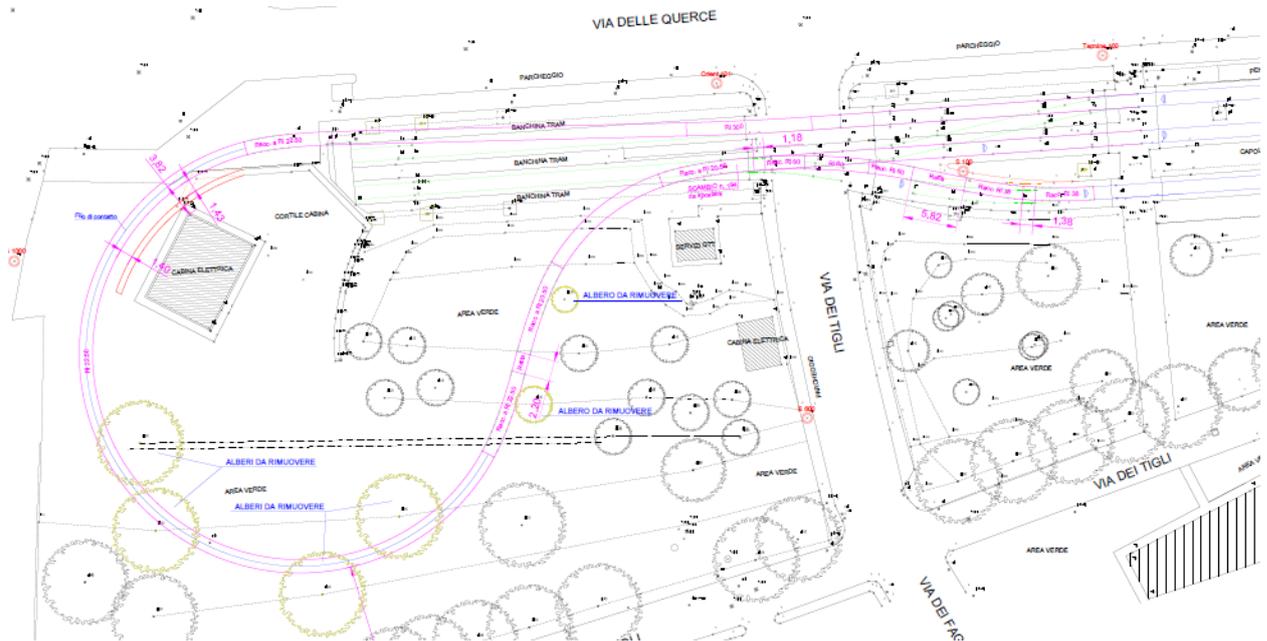


Figura 2. Estratto degli elaborati progettuali con in evidenza la nuova rotatoria.

Il progetto prevede in particolare che la rotatoria si avvicini all’edificio residenziale di via dei Tigli 14-18 fino ad una distanza minima di circa 22m tra binario e facciata dell’edificio.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Nell’ambito della normativa vigente in materia di inquinamento da rumore, il presente studio fa riferimento alle seguenti leggi, decreti ed allegati tecnici:

- Legge Quadro sull’inquinamento acustico n.447 del 26/10/95.
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 14/11/97 “Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”
- Decreto del Ministro dell’Ambiente 16 marzo 1998 – “Tecniche di rilevamento e di misurazione dell’inquinamento acustico”
- D.L. 42/2017
- Legge Regione Piemonte n°52 del 20/10/2000.
- Deliberazione della Giunta Regionale 2/2/2004 n.9-11616 “Criteri per la redazione degli studi d’impatto acustico”
- Regolamento acustico comunale della Città di Torino
- Parere Ministero dell’Ambiente – servizio S.I.A.R. a riguardo dell’applicabilità dei limiti differenziali di immissione sonora alle tranvie urbane.

Nei paragrafi seguenti si riportano alcune ulteriori specificazioni sui principali aspetti della normativa vigente. Si rimanda ai testi della G.U. e del B.U.R. e dei pareri tecnici per ulteriori approfondimenti e dettagli.

2.1 Legge 447/95 "Legge quadro sull'inquinamento acustico"

La legge stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico. Stabilisce le competenze dello Stato, delle Regioni, delle Province e dei Comuni.

In termini di valori limite di emissione delle sorgenti (Art. 2 comma 1, lettera e) e di valori limite di immissione nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno (Art. 2 comma 1, lettera f) la legge quadro rimanda ad appositi decreti attuativi per le specifiche tipologie di sorgenti. Allo stato attuale sono stati emanati i seguenti decreti di interesse per il presente studio:

- DPCM 14 novembre 1997 - Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore.
- Decreto del Ministro dell'Ambiente 16 marzo 1998 - Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico.

2.2 Il DPCM 14/11/1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore"

I valori limite delle emissioni sonore delle sorgenti fisse di cui all'art. 2, comma 1, lettera c) della legge 447 sono indicati nella tabella B del DPCM 14/11/97 e dipendono dalle classi di destinazione d'uso del territorio. E' necessario che, per la loro applicabilità, i comuni abbiano provveduto alla zonizzazione acustica del proprio territorio.

I valori assoluti delle immissioni sonore dipendono dalla zonizzazione acustica del territorio e sono indicati nella tabella C del DPCM 14/11/97 e dipendono anch'essi dalle classi di destinazione d'uso del territorio. I valori limite assoluti delle immissioni sonore sono gli stessi definiti in precedenza dal DPCM 1/3/91. I valori limite differenziali di immissione sono mantenuti nella quantità di 5 dB per il periodo diurno e 3 dB per il periodo notturno. (Art.4 comma 1).

Tab. 1 Classi di destinazione d'uso del territorio

CLASSE I Diurno 50 - 45 dB(A) Notturno 40 - 35 dB(A)	Aree particolarmente protette. Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo ed allo svago, aree residenziali e rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc...
CLASSE II Diurno 55 - 50 dB(A) Notturno 45 - 40 dB(A)	Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale. Rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente dal traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali ed artigianali.

CLASSE III Diurno 60 - 55 dB(A) Notturmo 50 – 45 dB(A)	Aree di tipo misto. Rientrano in questa classe le aree urbane interessate dal traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione, con presenza di attività commerciali, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici
CLASSE IV Diurno 65 - 60 dB(A) Notturmo 55 – 50 dB(A)	Aree di intensa attività umana. Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali ed uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali; le aree con limitata presenza di piccole industrie.
CLASSE V Diurno 70 - 65 dB(A) Notturmo 60 – 55 dB(A)	Aree prevalentemente industriali. Rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.
CLASSE VI Diurno 70 - 65 dB(A) Notturmo 70 – 65 dB(A)	Aree esclusivamente industriali. Rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi.

2.2.1 Valori limite di emissione sonora

I valori limite di emissione, intesi come valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa, come da art. 2, comma 1, lettera e) della legge 26 ottobre 1995 n° 447, sono riferiti alle sorgenti fisse e alle sorgenti mobili. Essi sono riportati nella seguente Tab. 2.

Tab. 2 Classi di destinazione d'uso del territorio

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

I valori limite di emissione del rumore delle sorgenti sonore mobili e dei singoli macchinari costituenti le sorgenti sonore fisse, laddove previsto, sono regolamentati dalle norme di omologazione e di certificazione delle stesse.

I valori limite di emissione delle singole sorgenti fisse, riportate nel seguito, si applicano a tutte le aree del territorio ad esse circostanti e sono quelli indicati nella Tabella B dello stesso decreto

2.2.2 Valori limite di immissione sonora

I valori limite di immissione, riferiti al rumore immesso nell’ambiente esterno dall’insieme di tutte le sorgenti, sono quelli indicati nella Tabella C dello stesso decreto (0 del presente documento).

Per le infrastrutture stradali, ferroviarie, marittime, aeroportuali e le altre sorgenti sonore di cui all’art. 11, comma 1, legge 26 ottobre 1995 n° 447, i limiti suddetti non si applicano all’interno delle rispettive fasce di pertinenza, individuate dai relativi decreti attuativi. All’esterno di dette fasce, tali sorgenti concorrono al raggiungimento dei limiti assoluti di immissione.

Valori limite di emissione – Leq in dB(A)

Classi di destinazione d’uso del territorio	Tempi di riferimento	
	Diurno (06.00-22.00)	Notturmo
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

2.2.3 Valori limite differenziali di immissione sonora

I valori limite differenziali di immissione sono 5 dB per il periodo diurno e 3 dB per il periodo notturno, all’interno degli ambienti abitativi. Tali valori non si applicano nelle aree in Classe VI.

Tali disposizioni non si applicano se il rumore misurato a finestre aperte è inferiore a 50 dB(A) durante il periodo diurno e 40 dB(A) durante il periodo notturno se il rumore ambientale misurato a finestre chiuse è inferiore a 35 dB(A) durante il periodo diurno e 25 dB(A) durante il periodo notturno.

Le disposizioni relative ai valori limite differenziali di immissione non si applicano alla rumorosità prodotta dalle infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali, marittime, da attività e comportamenti non connessi con esigenze produttive, commerciali, professionali, da servizi ed impianti fissi dell’edificio adibiti ad uso comune, limitatamente al disturbo provocato all’interno dello stesso

2.3 Il DPCM 16/3/1998 "Tecniche di rilevamento e misurazione dell’inquinamento acustico"

Il Decreto stabilisce le tecniche di rilevamento e di misurazione dell’inquinamento da rumore, in attuazione dell’art. 3, comma 1, lettera c), della L. 26 ottobre 1995, n. 447.

Vengono inoltre indicate le caratteristiche degli strumenti di misura e delle catene di misura e le esigenze minime di certificazione della conformità degli strumenti alle specifiche tecniche.

Le misurazioni fonometriche eseguite in occasione della redazione del presente studio sono state eseguite seguendo le indicazioni tecniche del decreto.

	TRANVIE DI TORINO – LINEA 4 Modifica capolinea Falchera con anello di ritorno RELAZIONE VALUTAZIONE DI IMPATTO ACUSTICO	Pag. 8 di 19
		REV. 00

2.4 La DGR 9-11616

La Determinazione della Giunta Regionale 9-11616 fissa i criteri per la redazione degli studi di impatto acustico nell'ambito territoriale della Regione Piemonte.

Tali criteri richiedono esplicitamente la trattazione dei seguenti 14 punti tematici:

1. descrizione della tipologia dell'opera o attività in progetto, dell'ubicazione dell'insediamento e del contesto in cui viene inserita;
2. descrizione degli orari di attività e la possibilità (o la necessità) che durante l'esercizio vengano mantenute aperte superfici vetrate (porte o finestre), la contemporaneità di esercizio delle sorgenti sonore;
3. descrizione delle sorgenti rumorose connesse all'opera o attività e loro ubicazione;
4. descrizione delle caratteristiche costruttive dei locali (coperture, murature, serramenti, vetrate eccetera) con particolare riferimento alle caratteristiche acustiche dei materiali utilizzati;
5. identificazione e descrizione dei ricettori presenti nell'area di studio
6. planimetria dell'area di studio e descrizione della metodologia utilizzata per la sua individuazione.
7. indicazione della classificazione acustica definitiva dell'area di studio ai sensi dell'art. 6 della legge regionale n. 52/2000.
8. individuazione delle principali sorgenti sonore già presenti nell'area di studio e indicazione dei livelli di rumore ante-operam in prossimità dei ricettori esistenti e di quelli di prevedibile insediamento in attuazione delle vigenti pianificazioni urbanistiche.
9. calcolo previsionale dei livelli sonori generati dall'opera o attività nei confronti dei ricettori e dell'ambiente esterno circostante esplicitando i parametri e i modelli di calcolo utilizzati.
10. calcolo previsionale dell'incremento dei livelli sonori dovuto all'aumento del traffico veicolare indotto da quanto in progetto
11. descrizione dei provvedimenti tecnici, atti a contenere i livelli sonori emessi per via aerea e solida,
12. analisi dell'impatto acustico generato nella fase di realizzazione (non compreso nel presente studio poiché demandato all'impresa che svolgerà i lavori con propri mezzi, organizzazione e tempistiche.);
13. programma dei rilevamenti di verifica da eseguirsi a cura del proponente;
14. indicazione del provvedimento regionale con cui il tecnico che ha predisposto la documentazione di impatto acustico è stato riconosciuto "competente in acustica ambientale" ai sensi della legge n. 447/1995, art. 2, commi 6 e 7.

A tali disposizioni tecniche si fa dunque riferimento per la stesura della presente relazione.

2.5 Il Regolamento Comunale per la tutela dall'inquinamento acustico

Il Regolamento comunale recepisce le indicazioni della normativa nazionale e regionale in materia di inquinamento acustico e stabilisce, in base alle competenze dei Comuni come regolate dalla L.447/95, i riferimenti per:

- La concessione di eventuali deroghe al superamento dei limiti acustici
- Le modalità di presentazione e verifica delle pratiche autorizzative
- I limiti acustici delle infrastrutture stradali locali

Si faccia riferimento al testo del regolamento comunale per i dettagli

2.6 Parere Ministero dell'Ambiente a riguardo della applicabilità dei limiti differenziali di immissione sonora alle linee tranviarie urbane

Il parere, emanato in risposta ad una istanza relativa ad un progetto di nuova metrotranvia per la città di Verona in data 10/5/2001, specifica che "i valori limite differenziali di immissione non si applicano alla

	TRANVIE DI TORINO – LINEA 4 Modifica capolinea Falchera con anello di ritorno RELAZIONE VALUTAZIONE DI IMPATTO ACUSTICO	Pag. 9 di 19
		REV. 00

rumorosità prodotta dalle infrastrutture stradali e ferroviarie a cui è possibile assimilare le infrastrutture tranviarie”.

Il parere esclude pertanto la possibilità di applicare i limiti differenziali di immissione sonora alle infrastrutture tranviarie, ancorché esse siano escluse dall’applicazione del D.P.R.459/98.

Il parere suggerisce che per le infrastrutture tranviarie si applichino fasce di pertinenza acustica in analogia a quelle riportate nel decreto per le strade e cioè di 30m per le tratte di attraversamento urbano.

In questo caso, pertanto, il ricettore di riferimento per il presente lavoro si trova all’interno della fascia di pertinenza acustica della linea tranviaria giacché esso dista circa 22m dal binario in progetto.

Il parere indica altresì come riferimento – in attesa di specifici decreti ad hoc – che *"si possono riguardare come valori guida i limiti fissati dal D...P.R. 459/98 per le infrastrutture ferroviarie e con velocità di progetto non superiore a 200Km/h (art.5, comma 1 per i ricettori di cui alle lettere a) e b) (scuole, ospedali, case di cura e di riposo, e altri ricettori ricadenti all’interno della fascia "A");"*

In tal senso per i ricettori residenziali come nel presente caso i limiti di fascia risulterebbero essere pari a 70dB(A) in periodo diurno e 60dB(A) in quello notturno da rilevarsi in facciata con le medesime modalità da seguire nel caso delle infrastrutture ferroviarie.

3. AREA DI STUDIO E RICETTORI DI RIFERIMENTO

L’area di studio relativa alla progettazione e futura realizzazione della nuova rotatoria tranviaria si trova interamente compresa nel territorio comunale di Torino ed interessa in particolare un singolo ricettore residenziale: il condominio della via del Tigli ai civici 14-18, nell’ambito della borgata Falchera.

L’edificio conta 3 piani fuori terra ed è interamente dedicato ad abitazioni: non sono presenti attività commerciali, artigianali o di altra natura. Nella foto seguente è rappresentata la facciata esterna dell’edificio che si volge verso il sito di prevista realizzazione della nuova rotatoria.



Figura 3. Foto dell'edificio residenziale di via dei Tigli 14-18.

3.1 Zonizzazione acustica della Città di Torino e limiti acustici di riferimento ai ricettori

La Città di Torino è dotata di Piano di Classificazione Acustica del territorio comunale. Ad esso si fa riferimento per la classe acustica del ricettore residenziale oggetto del presente lavoro ed ai conseguenti limiti di emissione ed immissione sonora. In particolare, all'edificio di via dei Tigli 14-18 è assegnata la classe acustica II come indicato anche nella Tav.1 allegata al presente documento.

Per quanto riguarda i limiti di riferimento è possibile considerare anche i limiti suggeriti dal parere del Ministero dell'Ambiente – servizio S.I.A.R. già precedentemente citato.

4. MISURAZIONI FONOMETRICHE SUL TERRITORIO DELL'AREA DI STUDIO E DEFINIZIONE DEI LIVELLI SONORI DI RIFERIMENTO "ANTE OPERAM" AI RICETTORI

Le misurazioni fonometriche sul territorio sono state eseguite con tecnica di monitoraggio su almeno 24 ore consecutive in una giornata "tipo" presso il balcone di un appartamento al primo piano dell'edificio ricettore. Si riportano qui di seguito i risultati ottenuti.

4.1 Risultati dei rilievi fonometrici

I dati acustici di dettaglio sono riportati nelle schede tecniche di misura in allegato alla presente relazione. Nella tabella seguente si riportano i dati di sintesi espressi in termini di LAeq e livello percentile L₉₅ (rappresentativo del livello sonoro superato per il 95% del tempo di misura e, pertanto, indicatore del livello di rumore presente quando il traffico stradale urbano risulta minimo e non sono distinguibili contributi di sorgenti sonore specifiche puntualmente localizzate sul territorio).

Tab. 3 Sintesi dei risultati delle misurazioni fonometriche

N.	Data	LAeq d.	L ₉₅ d.	LAeq n.	L ₉₅ n.
		[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]
1	13/3/24 (*)	54.0	47.3	50.5	41.0
1	14/3/24	54.0	47.2	49.5	41.4
1	25/3/24 (**)	54.0	46.8	--	--

(*) misurazione iniziata alle ore 13:00

(**) misurazione terminata alle ore 15:00

I risultati delle misurazioni indicano una significativa stabilità dei livelli sonori con un clima acustico che in periodo diurno si attesta sui 54dB(A) a fronte di un limite di 55dB(A). In periodo notturno si rileva un livello sonoro di circa 50dB(A) a fronte di un limite notturno di immissione sonora pari a 45dB(A). Il superamento del limite è potenzialmente causato dalla presenza della vicina viabilità autostradale della tangenziale di Torino e degli svincoli ad essa connessi. Il livello percentile L₉₅, pari a 41dB(A) ed utile per valutare il clima acustico escludendo in buona parte il contributo del traffico stradale, indica infatti un livello sonoro pienamente compatibile con il limite di zona. Si esclude pertanto la presenza nelle vicinanze di sorgenti sonore di tipo impiantistico o comunque a funzionamento continuo che possano alterare il clima acustico in facciata dell'edificio.

5. MODELLIZZAZIONE ACUSTICA DEL TERRITORIO

Sulla base dei dati acustici acquisiti e precedentemente descritti, della natura dei luoghi e della tipologia di vettura tranviaria di previsto impiego sulla linea è possibile effettuare delle previsioni quantitative relative alle future immissioni sonore verso i ricettori di riferimento.

Per lo sviluppo dei calcoli previsionali si fa uso di software di calcolo acustico automatizzato e, nello specifico del presente lavoro, è stato utilizzato il programma SoundPLAN V.9.0 con norma di calcolo ISO9613-2.

	TRANVIE DI TORINO – LINEA 4 Modifica capolinea Falchera con anello di ritorno RELAZIONE VALUTAZIONE DI IMPATTO ACUSTICO	Pag. 12 di 19
		REV. 00

In particolare, lo studio previsionale viene sviluppato ricreando nel modello matematico al calcolatore lo scenario tridimensionale dell'area in oggetto, inserendovi i ricettori e le fonti sonore ed assegnano a tutti gli elementi le rispettive proprietà acustiche attive e passive. Le proprietà acustiche attive corrispondono ai dati di emissione sonora delle previste sorgenti mentre le proprietà passive corrispondono ai dati di fonoassorbimento/fonoisolamento delle differenti superfici ed elementi presenti nella rappresentazione dello stato dei luoghi.

5.1 Elementi e dati di input utilizzati per la modellizzazione acustica

Per la definizione del modello acustico sono stati utilizzati i dati disponibili nel database cartografico della Regione Piemonte e della Città di Torino, con particolare riferimento ai file vettoriali (shapes) contenenti le informazioni relative a:

- Altimetria e morfologia del terreno
- Edifici (unità volumetriche) e loro altezze
- Zonizzazione acustica della Città di Torino

L'insieme di informazioni contenute nei database cartografici è stata importata nel software SoundPLAN così da poter associare ad ogni edificio la quota altimetrica e la classe acustica di appartenenza. L'edificio ricettore è stato identificato con la denominazione "R1" – ovvero ricettore n.1.

Il modello matematico realizzato grazie al software di calcolo previsionale permette di eseguire calcoli per i diversi futuri scenari operativi per mezzo della tecnica del cosiddetto "ray-tracing".

5.2 Applicazione del ray-tracing alla propagazione del campo sonoro

I software che gestiscono il calcolo della propagazione del campo sonoro sul territorio sono dei veri e propri software CAD dotati di una interfaccia grafica per il disegno ma comprendono anche al loro interno un sistema GIS (Sistema informativo territoriale) che contiene tutte le informazioni sulle dimensioni di ogni oggetto modellizzato e sulle sue proprietà acustiche attive (di emissione sonora) e passive (di assorbimento o riflessione).

A corredo dei software vengono forniti inoltre database contenenti le caratteristiche acustiche di base di molti materiali e tipologie di terreni utili per i calcoli.

5.2.1 Sintesi dell'algoritmo di calcolo

La principale peculiarità dei software di ray-tracing è l'utilizzo di raggi sonori costituiti da fasci conici o piramidali. La generazione dei fasci è di tipo isotropo come rappresentato schematicamente nella seguente figura (per il caso di fasci piramidali). Ciò significa che si può partire da un numero minimo di fasci pari ad 8 (gli 8 ottanti di una sfera), ed incrementare il numero per potenze di 2: 16, 32, 64, etc. Chiaramente il tempo di calcolo cresce con diretta proporzionalità al numero di piramidi tracciate ma i software consentono calcoli accurati anche con poche centinaia di fasci.

Il tracciamento del raggio centrale di ciascun fascio avviene seguendo le leggi di riflessione dell'acustica geometrica (legge di Snell) e, a seconda del materiale dell'oggetto su cui impatta il raggio, viene calcolata

l'aliquota di energia riflessa ed assorbita. La verifica dell'impatto sui ricevitori avviene quando uno di essi (schematizzato da un punto di dimensioni nulle) si viene a trovare all'interno del fascio in corso di tracciamento. Se si verifica la condizione di arrivo di energia sul ricevitore, il contributo ricevuto viene memorizzato in una opportuna struttura di dati che provvede a comporre man mano il livello sonoro finale (risultato del calcolo).

Vi è inoltre la possibilità di assegnare proprietà fonoisolanti a determinati oggetti come, ad esempio, a superfici verticali al fine di poter modellizzare efficacemente ad esempio le schermature acustiche.

Quando un raggio sonoro colpisce una di queste superfici, vengono attivati ulteriori controlli, onde verificare se dietro di essa si trova un ricevitore. In tale caso, si calcola il contributo sullo stesso fornito dall'onda sonora che ha attraversato la superficie (in base al potere fonoisolante della stessa). Si verifica poi se la superficie presenta bordi liberi, ed in caso affermativo viene portato un ulteriore contributo di energia al ricevitore a partire da ciascun bordo libero, calcolato in base alle leggi della diffrazione o con altre formule analitiche o di progressiva approssimazione (algoritmi di ottimizzazione). Ad esempio, può essere applicata la formula di Maekawa.

$$I_{diff} = I \cdot \frac{\tanh \sqrt{2 \cdot \pi \cdot |N|}}{\sqrt{10} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot |N|}} \quad ; \quad N = \frac{2 \cdot \delta \cdot f}{c_0} \quad (\text{n}^\circ \text{ di Fresnel})$$

La seguente figura mostra le traiettorie dei raggi che vengono tracciati in questi casi (diffratti ed attraversanti).

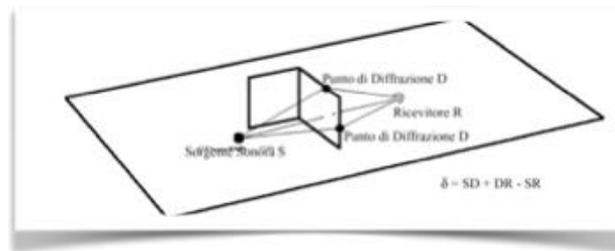


Figura 4. Esempio: schema di calcolo degli effetti schermanti di una barriera acustica.

Seguendo la metodologia sopra descritta e grazie al software di calcolo automatizzato SoundPLAN V.9.0 è stata sviluppata la valutazione acustica previsionale lo scenario di esercizio delle opere in progetto. Si riporta qui di seguito una vista 3D del modello acustico con in primo piano l'edificio ricevitore e di fronte ad esso la vettura tranviaria in curva.

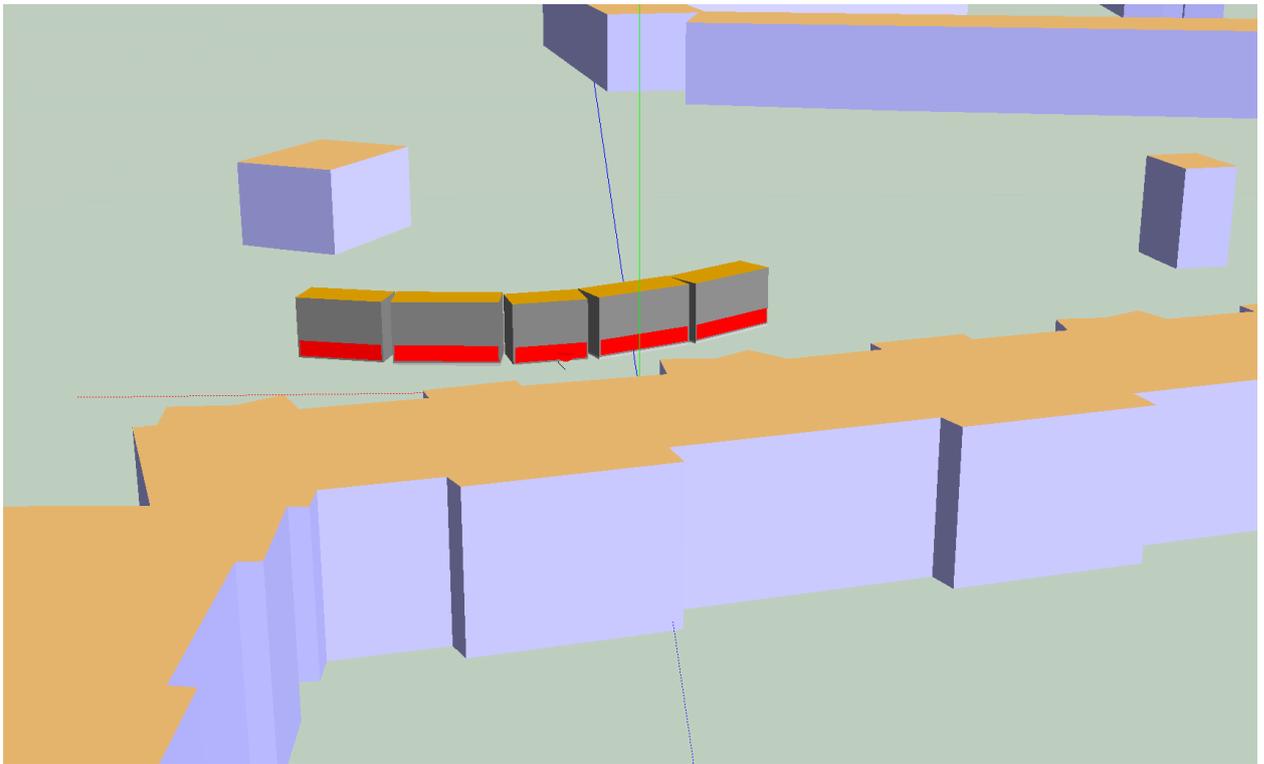


Figura 5. Vista 3D del modello di calcolo acustico previsionale.

6. VALUTAZIONE PREVISIONALE DELLE FUTURE IMMISSIONI SONORE DEI TRANSITI TRANVIARI

6.1 Definizione dello spettro sonoro di progetto per i transiti delle vetture tranviarie.

Lo spettro sonoro di riferimento per lo sviluppo dei calcoli previsionali finalizzati alla quantificazione delle immissioni sonore derivanti dai transiti delle vetture tranviarie sulla rotatoria in progetto è stato ricavato dalle misurazioni dirette eseguite sulla vettura 8009 durante il suo passaggio lungo la curva di Piazzale Caio Mario avente raggio di curvatura analogo a quello della rotatoria in progetto.

Lo spettro sonoro è stato misurato alla distanza di 2m dal binario più esterno ed a 1m di altezza da terra. Questa altezza è in particolare stata scelta perché corrispondente alla posizione delle principali fonti sonore specifiche delle vetture: gli apparati elettromeccanici di trazione e le ruote.

Nel grafico seguente è riportato lo spettro sonoro misurato in concomitanza con transiti a 25Km/h. Esso si mantiene pressoché inalterato anche per i transiti con velocità di 20Km/h e di 15Km/h ed è pertanto un adeguato riferimento per i calcoli previsionali.

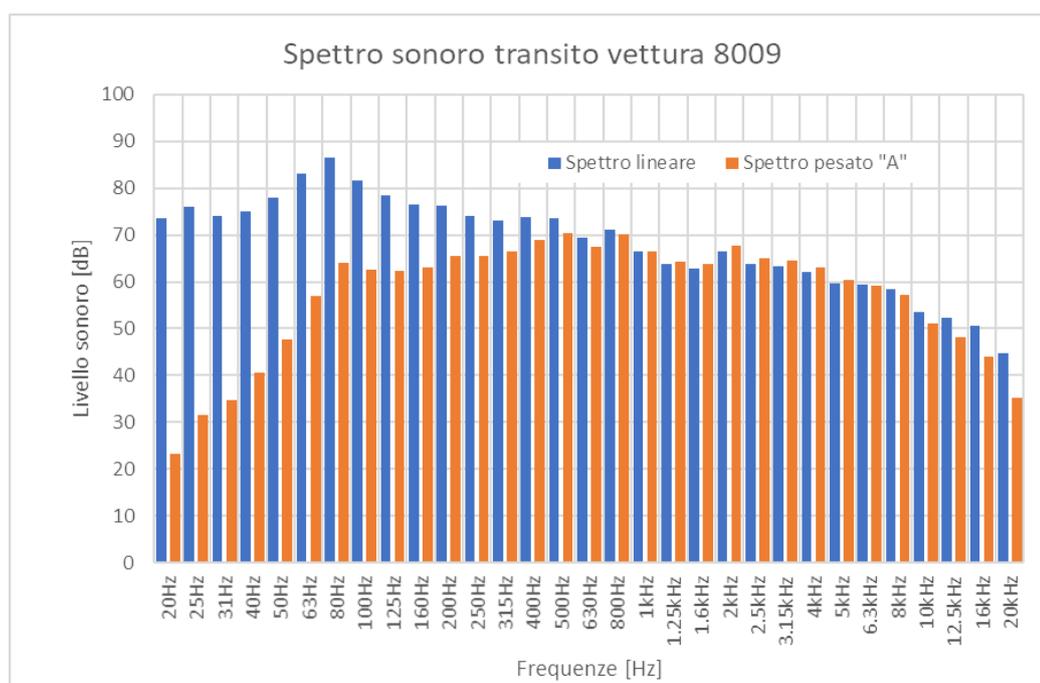


Figura 6. Spettro sonoro rilevato a 2m di distanza dal binario della curva di Piazzale Caio Mario.

6.1.1 Orari di previsto esercizio della linea con indicazione della stima del tempo effettivo di transito dell'insieme delle vetture tranviarie su base oraria

La linea tranviaria è prevista in esercizio diurno e notturno a partire dalle ore 5:30 del mattino e fino alle ore 1:30 della notte. Il numero di transiti previsto è di 208 con una distribuzione oraria avente andamento come in figura. Per ogni transito è stato considerato cautelativamente un tempo di 10s e si è considerato un incremento di +2dB della potenza sonora di emissione della vettura tranviaria rispetto ai livelli sonori misurati in campo per tenere conto della incertezza del calcolo previsionale.

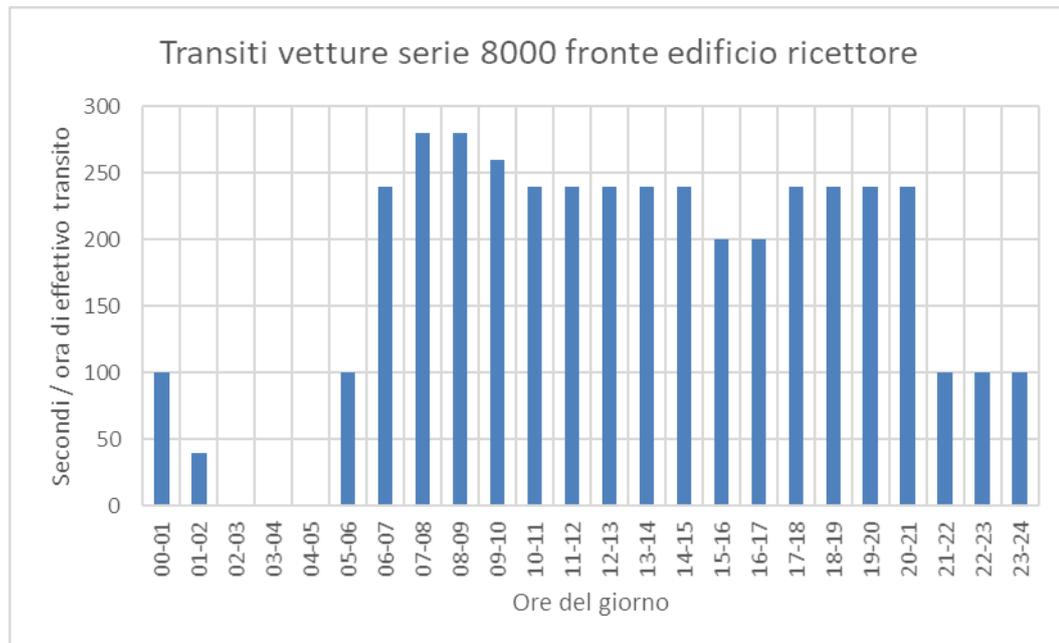


Figura 7. Distribuzione oraria dei transiti delle vetture tranviarie di fronte al ricettore di riferimento sulla base della somma dei tempi di transito: per ogni transito è stato considerato un tempo di 10s.

6.1 Risultati dei calcoli acustici previsionali

Il modello acustico previsionale è stato realizzato – come già precedentemente descritto – per mezzo del software SoundPlan V.9.0. Il software consente di assegnare alla sorgente sonora una potenza di emissione ricavata direttamente dalle misure dirette sulla tipologia di vettura tranviaria di previsto utilizzo come specificato al paragrafo precedente.

Il risultato del calcolo acustico in facciata dell’edificio ricettore di riferimento è riportato nella seguente tabella e nelle tavole grafiche da Tav.1 a Tav.4 allegate al presente documento.

Si specifica che nelle tabelle sono riportati come riferimento i livelli sonori corrispondenti al punto in facciata dell’edificio ove essi sono più elevati.

Tab. 4 : Sintesi dei risultati del calcolo previsionale utilizzando come limiti di riferimento quelli relativi alle ipotetiche fasce di pertinenza suggerite dal parere del Ministero dell’Ambiente

Descrizione	Livello sonoro più elevato tra i diversi punti in facciata [dB(A)]	Limite di riferimento [dB(A)]	Rispettato
LAeq immissione sonora transiti diurni valutata sulle 16 ore del periodo diurno	50	70	SI
LAeq immissione sonora transiti notturni valutata sulle 8 ore del periodo notturno	44	60	SI

7. SINTESI E CONCLUSIONI

Lo studio d’impatto acustico per la realizzazione della nuova rotatoria tranviaria Falchera, che sostituirà l’attuale capolinea nell’ambito degli interventi di potenziamento ed ampliamento della rete tranviaria torinese, è stato sviluppato al fine di verificare la compatibilità del progetto e ricercare la sua ottimizzazione sotto il profilo della compatibilità acustica.

Le misurazioni di livello sonoro in facciata del ricettore residenziale più vicino al sito oggetto di intervento hanno consentito di caratterizzare il clima acustico attualmente presente. La sorgente sonora principale è costituita dal traffico urbano e della non lontana tangenziale di Torino.

I rilievi fonometrici eseguiti in Piazzale Caio Mario dove la rete tranviaria torinese dispone di una curva di raggio analogo a quello della rotatoria in progetto hanno altresì consentito di quantificare le emissioni sonore delle nuove vetture “serie 8000” di previsto impiego sulla linea 4 proprio nelle medesime condizioni operative in cui se ne prevede l’impiego di fronte al ricettore di via dei Tigli 14-18, edificio maggiormente esposto alle emissioni dei futuri transiti tranviari.

Gli elementi ed i dati raccolti sul campo hanno consentito di predisporre un modello acustico previsionale per mezzo del software di calcolo acustico SoundPlan V.9.0 in cui sono stati inseriti l’edificio ricettore, la nuova linea tranviaria ed il contesto circostante della borgata Falchera.

I calcoli acustici previsionali indicano che i limiti di immissione sonora applicabili alla rumorosità derivante dalle infrastrutture ferroviarie o assimilabili si prevedono rispettati ancorché, in periodo notturno, con ridotto margine di confidenza.

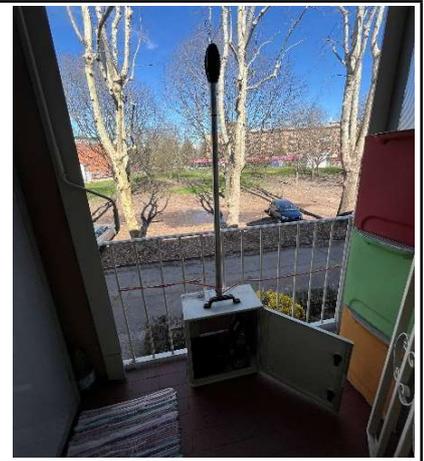
	TRANVIE DI TORINO – LINEA 4 Modifica capolinea Falchera con anello di ritorno RELAZIONE VALUTAZIONE DI IMPATTO ACUSTICO	Pag. 18 di 19
		REV. 00

**ALLEGATO N.1 SCHEDE TECNICHE DI MISURA DEL RUMORE E CERTIFICATI DI TARATURA
DELLA STRUMENTAZIONE FONOMETRICA**

Torino via dei Tigli 14-18

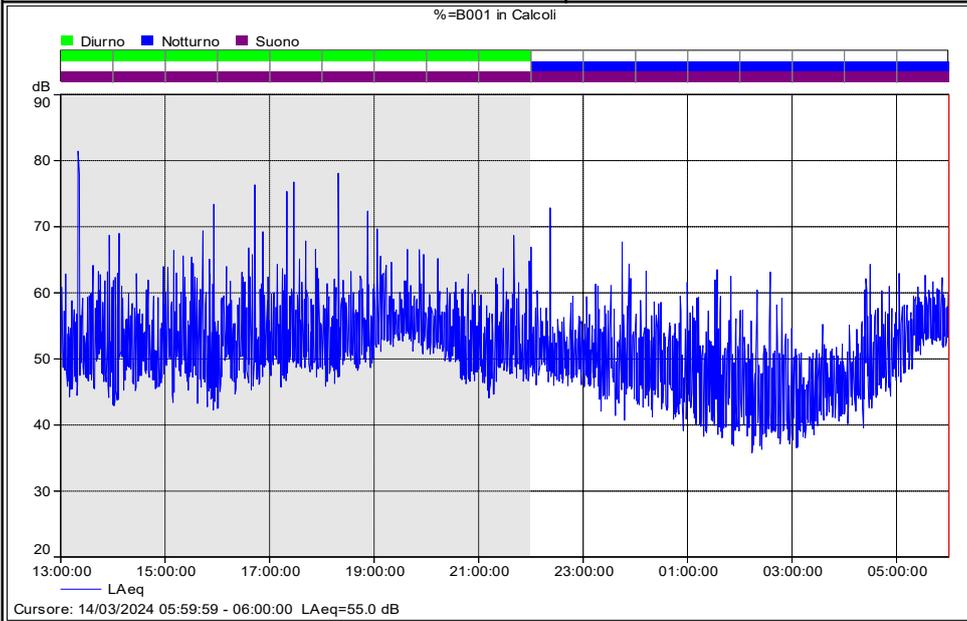
Misure fonometriche di monitoraggio a medio termine

Postazione fonometrica:	1	Terrazzo piano 1		
Data:	13/03/2024	Leq:	54.1	dB(A)
Orario:	13:00:00			
Durata:	09:00:00	K _T :	0	dB
Altezza:	circa 1.5 m	K _f :	0	dB
Distanza:	circa 1.0 m	Leq _{corr.} :	54.0	dB(A)
(*) Distanza dalla sorgente sonora		L ₉₅ :	47.3	dB(A)



Tracciato temporale del livello sonoro

Diurno



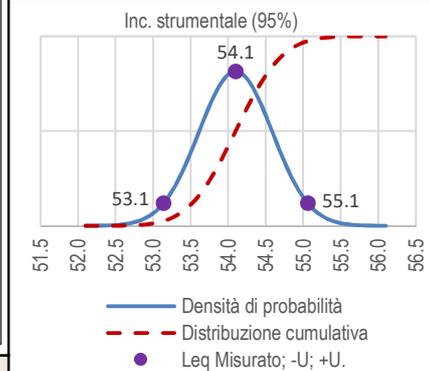
Livelli sonori percentili [dB(A)]

L ₁ =	61.4	L ₉₀ =	48.3
L ₁₀ =	56	L ₉₅ =	47.3
L ₅₀ =	51.9	L ₉₉ =	45.4

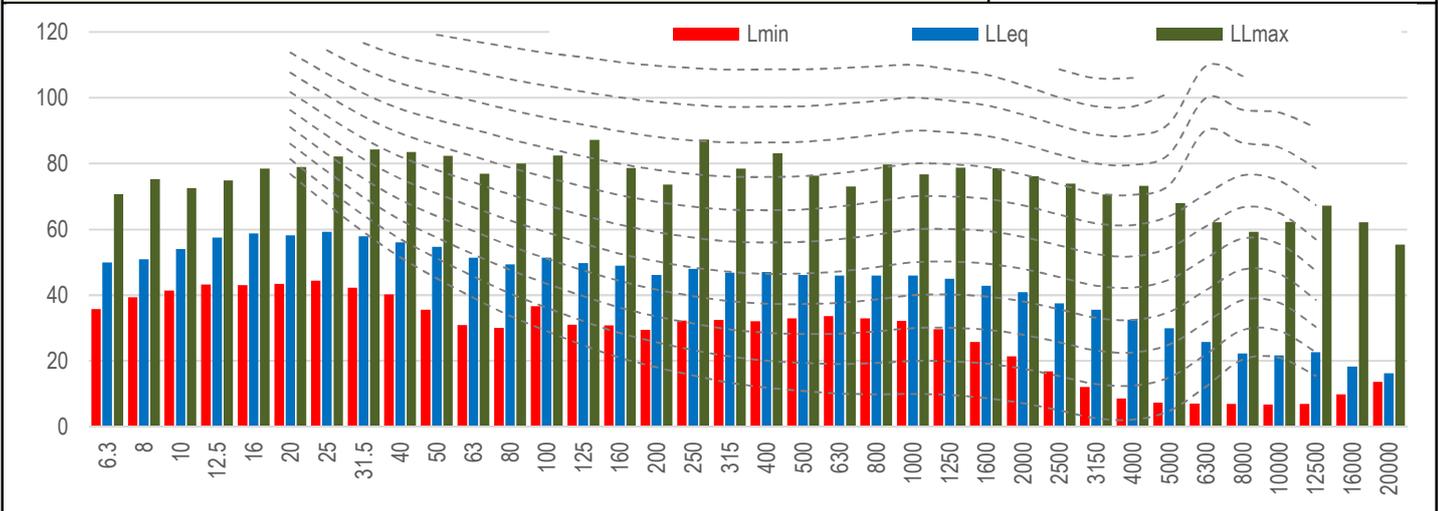
Componente tonale -- Hz

Componenti impulsive NO

Inc. est. strum. U(95%): 0.96 dB



Analisi spettrale



Spettri per bande di terzi d'ottava

Freq. [Hz]	L _{Aeq} [dB]	L _{Leq} [dB]	L _{Lmax} [dB]	L _{Lmin} [dB]	Freq. [Hz]	L _{Aeq} [dB]	L _{Leq} [dB]	L _{Lmax} [dB]	L _{Lmin} [dB]	Freq. [Hz]	L _{Aeq} [dB]	L _{Leq} [dB]	L _{Lmax} [dB]	L _{Lmin} [dB]	Freq. [Hz]	L _{Aeq} [dB]	L _{Leq} [dB]	L _{Lmax} [dB]	L _{Lmin} [dB]	
6.3	-35.4	50.0	70.7	35.8	50	24.5	54.7	82.3	35.6	400	42.2	47.0	83.1	32.1	3.15K	36.8	35.6	70.6	12.1	
8	-26.7	50.9	75.3	39.3	63	25.2	51.4	76.9	31.0	500	43.0	46.2	76.3	33.0	4K	33.6	32.6	73.3	8.6	
10	-16.3	54.1	72.5	41.4	80	26.9	49.4	80.0	30.0	630	44.1	46.0	73.0	33.6	5K	30.4	29.9	67.9	7.4	
12.5	-5.9	57.5	74.9	43.2	100	32.3	51.4	82.4	36.7	800	45.2	46.0	79.7	33.0	6.3K	25.7	25.8	62.1	7.1	
16	2.1	58.8	78.5	43.0	125	33.7	49.8	87.1	31.1	1K	46.0	46.0	76.7	32.2	8K	21.2	22.3	59.3	7.0	
20	7.6	58.1	79.0	43.4	160	35.5	48.9	78.7	30.9	1.25K	45.6	45.0	78.8	29.6	10K	19.2	21.7	62.2	6.8	
25	14.6	59.3	82.1	44.4	200	35.3	46.2	73.6	29.4	1.6K	43.8	42.8	78.6	25.8	12.5K	18.4	22.7	67.2	7.0	
31.5	18.5	57.9	84.3	42.3	250	39.4	48.0	87.3	32.3	2K	42.1	40.9	76.1	21.5	16K	11.7	18.3	62.1	9.9	
40	21.5	56.1	83.5	40.3	315	40.2	46.8	78.5	32.5	2.5K	38.8	37.5	73.9	16.9	20K	7.0	16.3	55.4	13.7	
																Glob.	54.1	68.6	94.9	50.2