

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. ARCHITETTURA AMBIENTE E TERRITORIO

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA DI 2° FASE

LINEA A.V. /A.C. MILANO - VERONA

NODO DI BRESCIA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

STUDIO ACUSTICO E VIBRAZIONALE

Relazione generale

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I N 0 Y 1 0 F 2 2 R G I M 0 0 0 4 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva	C.Giannobile	Ottobre 2020	A. Velocchia	Ottobre 2020	L. Barohi	Ottobre 2020	D. Ludovici Ottobre 2020



File: IN0Y10F22RGIM0004001A.doc

n. Elab.:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA</p> <p>NODO DI BRESCIA</p> <p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA</p>					
<p>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE</p> <p>Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IN0Y</p>	<p>LOTTO</p> <p>10</p>	<p>CODIFICA</p> <p>F 22 RG</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IM0004 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>2 di 43</p>

INDICE

1	PREMESSA	3
2	STUDIO ACUSTICO	4
2.1	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2.2	CONCORSUALITÀ DELLE SORGENTI DI RUMORE PRESENTI SUL TERRITORIO	11
2.3	ANALISI DEL RUMORE INDOTTO IN FASE DI ESERCIZIO	16
2.3.1	<i>Modello previsionale</i>	16
2.3.2	<i>Dati di input del modello</i>	17
2.3.3	<i>Emissione dei rotabili</i>	20
2.3.4	<i>La valutazione del rumore in fase di esercizio</i>	23
2.4	METODI IL CONTENIMENTO DELL'INQUINAMENTO ACUSTICO.....	24
2.4.1	<i>Le Barriere Antirumore: requisiti acustici delle barriere antirumore, tipologie di barriere antirumore utilizzate</i>	24
2.4.2	<i>Descrizione delle barriere antirumore</i>	25
2.4.3	<i>Gli interventi sugli edifici</i>	29
2.5	LE OPERE DI MITIGAZIONE SUL TERRITORIO.....	31
3	STUDIO VIBRAZIONALE	32
3.1	RIFERIMENTI NORMATIVI	32
3.2	ANALISI DELLE VIBRAZIONI IN FASE DI ESERCIZIO	36
3.2.1	<i>Modello previsionale</i>	36
3.2.2	<i>La valutazione delle vibrazioni indotte in fase di esercizio</i>	40
4	CONCLUSIONI	43

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 3 di 43

1 PREMESSA

L'attivazione della tratta AV/AC Milano – Brescia del 2016 ha consentito di liberare la capacità sulla linea storica Milano-Venezia anche per traffici merci da/per Milano. L'incremento di traffico futuro sull'asse ferroviario Torino-Venezia, richiede, tra gli altri, l'intervento di potenziamento dello Scalo di Brescia.

In tale scenario si inserisce il progetto in parola che deve compatibilizzare l'impianto attuale di Brescia (attivazione di fase 4) con le esigenze di TerAlp e gli interventi nel loro ambito. L'opera relativa al Potenziamento Infrastrutturale dello Scalo di Brescia è suddivisa in due interventi:

- Realizzazione dell'asta di manovra di 750 metri lato Milano, sviluppato con PFTE di prima e seconda fase
- Nuovo PRG dello scalo di Brescia, sviluppato con PFTE di seconda fase, in aree ferroviarie

Il presente documento si riferisce allo Studio di Fattibilità Tecnico ed Economica di seconda fase che comprende sia lo sviluppo del nuovo PRG di scalo, da realizzare in aree ferroviarie, che il prolungamento dell'asta da 750 metri, da sviluppare in aree non di proprietà delle ferrovie.

	<p>LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA</p> <p>NODO DI BRESCIA</p> <p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA</p>					
<p>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE</p> <p>Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale</p>	<p>COMMESSA</p> <p>INOY</p>	<p>LOTTO</p> <p>10</p>	<p>CODIFICA</p> <p>F 22 RG</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IM0004 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>4 di 43</p>

2 STUDIO ACUSTICO

2.1 Riferimenti normativi

Legge Quadro 447/95

Nel 1995 viene pubblicata la legge 26 ottobre 1995 n° 447 «*Legge quadro sull'inquinamento acustico*».

Detto strumento normativo, che sostituisce il D.P.C.M. 1 marzo 1991, affronta il tema dell'inquinamento acustico del territorio, ricomprendendo al suo interno le definizioni fondamentali e definendo competenze ed adempimenti necessari alla tutela dell'ambiente dal rumore.

La Legge Quadro indica le metodiche da adottare per il contenimento della problematica (piani e disposizioni in materia d'impatto acustico), e fornisce all'art. 2 comma 1 una definizione del fenomeno, dell'ambito di applicazione della normativa e delle sorgenti.

In particolare la Legge Quadro fa riferimento agli **ambienti abitativi**, definiti come: «*ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive per i quali resta ferma la disciplina di cui al D.L. 15/08/91, n.277, salvo per quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti sonore esterne ai locali in cui si svolgono le attività produttive*».

Nella definizione riportata risultano quindi comprese le residenze e comunque tutti quegli ambienti ove risiedono comunità e destinati alle diverse attività umane, ai quali non viene in genere ristretto il concetto di ambiente abitativo.

Sempre all'interno dell'art. 2 comma 1. la Legge Quadro fornisce la definizione di sorgente di rumore suddividendole tra *sorgenti fisse* e *sorgenti mobili*.

In particolare vengono inserite tra le **sorgenti fisse** anche le infrastrutture stradali e ferroviarie:

«... le installazioni unite agli immobili anche in via transitoria il cui uso produca emissioni sonore, **le infrastrutture stradali, ferroviarie**, commerciali; ...; le aree adibite ad attività sportive e ricreative.»

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA</p> <p>NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA</p>					
<p>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE</p> <p>Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IN0Y</p>	<p>LOTTO</p> <p>10</p>	<p>CODIFICA</p> <p>F 22 RG</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IM0004 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>5 di 43</p>

La Legge Quadro ribadisce la necessità che i comuni predispongano una **zonizzazione acustica comunale**. Le aree previste per la zonizzazione del territorio sono sei e sono così caratterizzate:

<p>I - AREE PARTICOLARMENTE PROTETTE</p>	<p>Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per l'utilizzazione, quali aree ospedaliere, scolastiche, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse naturalistico, ricreativo, culturale, archeologico, parchi naturali e urbani;</p>
<p>II - AREE PREVALENTEMENTE RESIDENZIALI</p>	<p>Rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, limitata presenza di attività commerciali, totale assenza di attività industriali ed artigianali;</p>
<p>III - AREE DI TIPO MISTO</p>	<p>Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale e di attraversamento, con media densità di popolazione, con presenza di attività commerciali, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali, interessate da attività che impiegano macchine operatrici;</p>
<p>IV - AREE DI INTENSA ATTIVITÀ UMANA</p>	<p>Rientrano in questa classe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con elevata presenza di attività commerciali ed uffici, presenze di attività artigianali, con dotazione di impianti di servizi a ciclo continuo; • le aree in prossimità di strade di grande comunicazione, di linee ferroviarie, di aeroporti e porti; • le aree con limitata presenza di piccole industrie;
<p>V - AREE PREVALENTEMENTE INDUSTRIALI</p>	<p>Rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni;</p>
<p>VI - AREE ESCLUSIVAMENTE INDUSTRIALI</p>	<p>Rientrano in questa classe le aree interessate da industrie a ciclo continuo prive di insediamenti abitativi.</p>

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 6 di 43

Un aspetto innovativo della Legge Quadro è invece l'introduzione, accanto al criterio valore limite assoluto di immissione nell'ambiente e del criterio differenziale previsti dall'ex D.P.C.M., di altri metodi di valutazione dello stato e dell'inquinamento acustico ambientale, che di seguito vengono elencati:

- criterio del valore limite massimo di emissione;
- criterio dei valori di attenzione;
- criterio del valore di qualità.

Si rileva pertanto che la Legge analizza sotto diversi aspetti la problematica acustica imponendo, accanto ai limiti di tutela per i ricettori, dei limiti sulle emissioni delle specifiche sorgenti e degli obiettivi di qualità da perseguire nel tempo.

Per l'individuazione dei limiti di applicabilità e delle soglie numeriche relative a ciascun criterio di valutazione, la Legge 447/95 demanda al D.P.C.M. del 14/11/1997 «*Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore*». Da tale D.P.C.M. resta, però, ancora una volta esclusa la regolamentazione delle infrastrutture di trasporto.

D.P.R. 459/98

Per quanto concerne la disciplina del rumore ferroviario, il D.P.C.M del 14/11/97, coerentemente con quanto previsto dalla Legge Quadro 447/95, rimanda pertanto al D.P.R. n. 459 del 18/11/98.

Di seguito, si sintetizzano i contenuti salienti del regolamento.

Il decreto stabilisce le norme per la prevenzione ed il contenimento dell'inquinamento da rumore avente origine dall'esercizio delle infrastrutture delle ferrovie e delle linee metropolitane di superficie, con esclusione delle tramvie e delle funicolari.

Per le infrastrutture ferroviarie esistenti, per le loro varianti e per le nuove realizzazioni con velocità di progetto inferiore a 200 km/h in affiancamento a linee esistenti, a partire dalla mezzera dei binari esterni e per ciascun lato, deve essere considerata una fascia di pertinenza dell'infrastruttura di 250 m.

Tale fascia deve a sua volta essere suddivisa in due parti:

- FASCIA «A»: pari a 100 m la più vicina alla sede ferroviaria
- FASCIA «B»: pari ad ulteriori 150 m più lontana da essa.

All'interno delle fasce suddette i valori limite assoluti di immissione del rumore prodotto dall'infrastruttura ferroviaria sono i seguenti:

- Per scuole, ospedali, case di cura, e case di riposo il limite è di 50 dB(A) nel periodo diurno e di 40 dB(A) nel periodo notturno. Per le scuole vale solo il limite diurno;
- Per gli altri ricettori posti all'interno della fascia «A» il limite è di 70 dB(A) nel periodo diurno e di 60 dB(A) nel periodo notturno;

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 7 di 43

- Per gli altri ricettori posti all'interno della fascia «B» il limite è di 65 dB(A) nel periodo diurno e di 55 dB(A) nel periodo notturno;
- Oltre la fascia di rispetto «B» valgono i limiti previsti dai piani di zonizzazione acustica comunali

Il rispetto dei limiti massimi di immissione, entro o al di fuori della fascia di pertinenza, devono essere verificati con misure sugli interi periodi di riferimento diurno (6-22) e notturno (22-6), in facciata degli edifici e ad 1 m dalla stessa, in corrispondenza dei punti di maggiore esposizione.

Inoltre qualora, in base a considerazioni tecniche, economiche o di carattere ambientale, il raggiungimento dei predetti limiti non sia conseguibile con interventi sull'infrastruttura, si deve procedere con interventi diretti sui ricettori.

In questo caso, all'interno dei fabbricati, dovranno essere ottenuti i seguenti livelli sonori interni:

- 35 dB(A) di Leq nel periodo notturno per ospedali, case di cura, e case di riposo;
- 40 dB(A) di Leq nel periodo notturno per tutti gli altri ricettori;
- 45 dB(A) di Leq nel periodo diurno per le scuole.

I valori sopra indicati dovranno essere misurati al centro della stanza a finestre chiuse a 1,5 m di altezza sul pavimento.

D.P.R. 142/04

In data 1 Giugno 2004 viene pubblicato il DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 30 marzo 2004, n. 142, - "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447".

Il decreto per le infrastrutture stradali, così come previsto dal suddetto art. 5 del D.P.C.M. 14/11/1997, fissa le fasce di pertinenza a partire dal confine dell'infrastruttura (art. 3 comma 3) ed i limiti di immissione che dovranno essere rispettati.

Il DPR interessa come campo di applicazione le seguenti infrastrutture stradali così come definite dall'Art. 2 del Codice della Strada (D.L.vo n. 285 del 30/04/1992) e secondo le Norme CNR 1980 e direttive PUT per i sottotipi individuati ai fini acustici.

Sono in particolare indicate le seguenti classi di strade:

A - Autostrade

B - Strade extraurbane principali

C - Strade extraurbane secondarie suddivise in

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 8 di 43

Ca - a carreggiate separate e tipo IV CNR

Cb - tutte le altre strade extraurbane secondarie

D - Strade urbane di scorrimento

Da - a carreggiate separate e interquartiere

Db - tutte le altre strade urbane di scorrimento

E - Strade urbane di quartiere

F - Strade locali

In particolare, per le infrastrutture appartenenti alle categorie A, B e Ca è individuata una fascia di rispetto di ampiezza complessivamente pari a 250 m misurata a partire dall'infrastruttura stradale per ciascun lato dell'infrastruttura.

Tale fascia per le infrastrutture esistenti è a sua volta suddivisa in:

- Fascia "A": pari a 100 m dalla sede stradale;
- Fascia "B": pari ad ulteriori 150 m più lontana dalla sede.

Per le infrastrutture appartenenti alla categoria Cb è individuata una fascia di rispetto di ampiezza complessivamente pari a 150 m misurata a partire dall'infrastruttura stradale per ciascun lato dell'infrastruttura.

Tale fascia per le infrastrutture esistenti è a sua volta suddivisa in:

- Fascia "A": pari a 100 m dalla sede stradale;
- Fascia "B": pari ad ulteriori 50 m più lontana dalla sede.

Per le altre tipologie di strada la fascia si riduce come segue:

- tipo Da e Db: fascia unica pari a 100 m
- tipo E ed F: fascia unica pari a 30 m

Per quanto concerne i limiti gli stessi sono stabiliti in maniera diversa in funzione del tipo di infrastruttura e a seconda che si tratti di infrastruttura di nuova realizzazione o di infrastruttura esistente e di sue varianti. Nella tabella seguente vengono riportati i limiti per le infrastrutture esistenti e in relazione alle diverse fasce di pertinenza.

PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN0Y	10	F 22 RG	IM0004 001	A	9 di 43

Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale

TIPO (secondo C.d.S)	SOTTOTIPO AI FINI ACUSTICI (secondo norme CNR 1980 e direttive PUT)	AMPIEZZA FASCIA	Scuole*, ospedali, case di cura e di riposo		ALTRI RICETTORI	
			Diurno	Notturmo	Diurno	Notturmo
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	Ca (carreggiate a carreggiate separate e tipo IV CNR 1980)	100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
	Cb (tutte le altre strade extraurbane secondarie)	100 (fascia A)	50	40	70	60
		50 (fascia B)			65	55
D – urbana di scorrimento	Da (carreggiate a carreggiate separate e interquartiere)	100	50	40	70	60
	Db (tutte le altre strade urbane di scorrimento)	100	50	40	65	55
E – urbana di quartiere		30	Definiti dai comuni e conformi alla zonizzazione acustica			
F – locale		30				

* Per le scuole vale il solo limite diurno

Tabella 1 - Limiti acustici per le strade esistenti e assimilabili

Per quanto concerne il rispetto dei limiti, il DPR 142 stabilisce che lo stesso sia verificato in facciata degli edifici ad 1 metro dalla stessa ed in corrispondenza dei punti di maggiore esposizione.

Per i ricettori inclusi nella fascia di pertinenza acustica, devono essere individuate ed adottate opere di mitigazione sulla sorgente, lungo la via di propagazione del rumore e direttamente sul ricettore, per ridurre l'inquinamento acustico prodotto dall'esercizio dell'infrastruttura, con l'adozione delle migliori tecnologie disponibili, tenuto conto delle implicazioni di carattere tecnico-economico.

Ove non sia tecnicamente conseguibile il rispetto dei limiti con gli interventi sull'infrastruttura, ovvero qualora in base a valutazioni tecniche, economiche o di carattere ambientale si evidenzia l'opportunità di procedere ad interventi diretti sui ricettori, deve essere assicurato il rispetto dei seguenti limiti:

- 35 dB(A) - Leq notturno per ospedali, case di cura e case di riposo;
- 40 dB(A) - Leq notturno per tutti gli altri ricettori di carattere abitativo;
- 45 dB(A) - Leq diurno per le scuole.

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 10 di 43

Tali valori sono valutati al centro della stanza, a finestre chiuse, all'altezza di 1,5 metri dal pavimento.

Decreto per la predisposizione degli interventi antirumore da parte dei gestori delle infrastrutture (DM 29/11/2000)

In data 6 Dicembre 2000, viene pubblicato il Decreto del Ministero dell'Ambiente n.141 del 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”*.

Detto strumento normativo, stabilisce i criteri tecnici per la predisposizione degli interventi antirumore, definendo, oltre agli obblighi del gestore, i criteri di priorità degli interventi, riportando inoltre in Allegato (Allegato 2) i criteri di progettazione degli interventi stessi (Allegato 3 – Tabella 1), l'indice dei costi di intervento e i criteri di valutazione delle percentuali dell'attività di risanamento da ascrivere a più sorgenti sonore che immettono rumore in uno stesso punto.

In particolare all'art. 4 *“Obiettivi dell'attività di risanamento”*, il Decreto stabilisce che le attività di risanamento debbano conseguire il rispetto dei valori limite del rumore prodotto dalle infrastrutture di trasporto così come stabiliti dai regolamenti di esecuzione di cui all'art. 11 della Legge Quadro.

Nel caso di sovrapposizione di più fasce di pertinenza, il rumore immesso non deve superare complessivamente il maggiore fra i valori limite di immissione previsti per le singole infrastrutture.

Per quanto concerne le priorità di intervento, nell'Allegato 1 viene riportato la seguente relazione per il calcolo dell'indice di priorità P,

$$P = \sum R_i (L_i - L_i^*) \quad (I).$$

nella quale:

R_i è il numero di abitanti nella zona i-esima,

$(L_i - L_i^*)$ è la più elevata delle differenze tra i valori di esposizione previsti e i limiti imposti dalla normativa vigente all'interno di una singola zona;

Relativamente alle infrastrutture concorrenti, il Decreto stabilisce che l'attività di risanamento sia effettuata secondo un criterio di valutazione riportato nell'allegato 4 oppure attraverso un accordo fra i medesimi soggetti, le regioni e le province autonome, i comuni e le province territorialmente competenti.

Il criterio indicato dal decreto nell'Allegato 4 viene introduce il concetto di *“Livello di soglia”*, espresso mediante la relazione

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA</p> <p>NODO DI BRESCIA</p> <p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA</p>					
<p>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE</p> <p>Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IN0Y</p>	<p>LOTTO</p> <p>10</p>	<p>CODIFICA</p> <p>F 22 RG</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IM0004 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>11 di 43</p>

$$L_s = L_{zona} - 10 \cdot \log_{10} N \quad (II)$$

e definito come “il livello cui deve pervenire, a seguito di risanamento, ogni singola sorgente, avente rumore egualmente ponderato.

Nella relazione (II) il termine N rappresenta il numero delle sorgenti interessate al risanamento, e L_{zona} è il limite assoluto di immissione. Se il livello equivalente di rumore immesso da una sorgente è inferiore di 10 dB(A) rispetto al valore della sorgente avente massima immissione ed inferiore al livello di soglia calcolato con il numero di sorgenti diminuito di 1, il contributo della sorgente stessa può essere trascurato.

2.2 Concorsualità delle sorgenti di rumore presenti sul territorio

La verifica di concorsualità, come indicata dall'Allegato 4 del DM 29/11/2000 "Criterio di valutazione dell'attività di risanamento da ascrivere a più sorgenti sonore che immettono rumore in un punto", richiede in primo luogo l'identificazione degli ambiti interessati dalle fasce di pertinenza dell'infrastruttura principale e dalle infrastrutture secondarie presenti sul territorio. La verifica è di tipo geometrico e viene svolta considerando le fasce di pertinenza delle infrastrutture di trasporto stradali e ferroviarie potenzialmente concorsuali.

Se il ricettore è compreso all'interno di un'area di concorsualità è in primo luogo necessario verificare la significatività della sorgente concorsuale.

La sorgente concorsuale non è sicuramente significativa e può essere trascurata se la differenza fra il livello di rumore causato dalla sorgente principale e quello causato dalla sorgente secondaria è superiore a 10 dBA. Tale approccio può essere applicato a ricettori presenti sia all'interno sia all'esterno della fascia dell'infrastruttura principale.

Nell'area di progetto l'unica sorgenti infrastrutturali che può essere ritenuta concorsuale è rappresentate dalla tangenziale ovest di Brescia.

Ai fini acustici questa è stata considerata strada esistente e i rispettivi limiti sono riportati in Tabella 2-1 (come indicato nella tab.2 dell'allegato 1 del D.P.R. 142/04):


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A

STRADA	TIPO (secondo C.d.S)	AMPIEZZA FASCIA	Scuole*, ospedali, case di cura e di riposo		ALTRI RICETTORI	
			Diurno	Notturmo	Diurno	Notturmo
Tangenziale Ovest di Brescia	B – extraurbana principale	100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55



Tabella 2-1 Infrastrutture concorsuali: individuazione dei limiti acustici tangenziale ovest di Brescia



LEGENDA

 Ambito di studio (300 m)

**Fasce di pertinenza acustica ferroviaria
linea di progetto (DPR 459/1998)**

-  Fascia A (0 - 100 m per lato da binario esterno)
-  Fascia B (100m - 250 m per lato da binario esterno)

**Fasce di pertinenza acustica stradale
Categoria B (DPR 142/2004)**



-  Fascia A (0 - 100 m)
-  Fascia B (100m - 250 m)

Figura 2-1: Fasce di pertinenza acustica asse di progetto

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 13 di 43

Per individuare i limiti che ciascun ricettore deve rispettare si considera quanto indicato nel Decreto Attuativo per la regolamentazione dei limiti d'immissione delle infrastrutture ferroviarie del 18/11/98 n° 459 "Regolamento recante norme di esecuzione dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n° 447, e nel DMA 29/11/2000.

Come evidenziato nei riferimenti normativi, i limiti di riferimento variano in funzione del tipo di ricettore cui si fa riferimento e del numero di sorgenti presenti sul territorio che possono definirsi concorsuali con quella oggetto di analisi.

Per il tipo di ricettori, alcuni di essi assumono i limiti sia nel periodo diurno, sia nel periodo notturno, mentre altri nel solo periodo diurno: ciò perché il limite di riferimento è relativo al periodo in cui effettivamente l'edificio in questione è utilizzato in maniera continuativa.

PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI
2° FASE

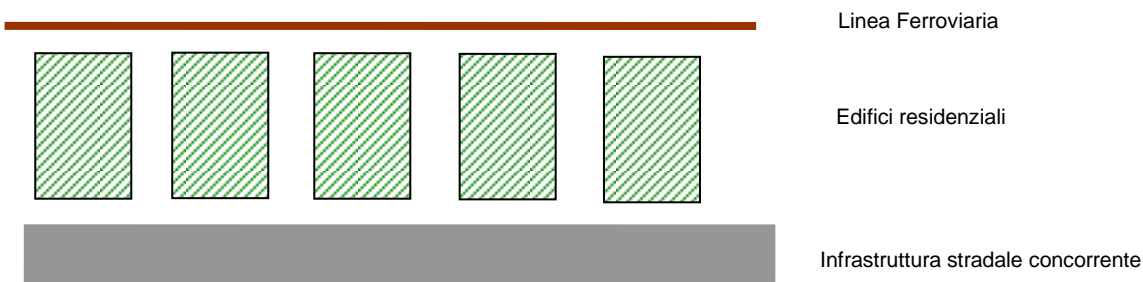
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN0Y	10	F 22 RG	IM0004 001	A	14 di 43

Studio acustico e vibrazioni – Relazione
generale

Tipo di ricettore	Fascia A (0-100 m)		Fascia B (100-250 m)	
	Periodo diurno dB(A)	Periodo notturno dB(A)	Periodo diurno dB(A)	Periodo notturno dB(A)
Residenziale	70,0	60,0	65,0	55,0
Produttivo	70,0	-	65,0	-
Terziario	70,0	-	65,0	-
Ospedale/Casa di Cura	50,0	40,0	50,0	40,0
Scuola	50,0	-	50,0	-
Altro (utilizzo saltuario)	-	-	-	-

Tabella 2 - Limiti acustici in assenza di sorgenti concorsuali

Si fa presente che a prescindere dall'appartenenza geometrica ad una determinata fascia di pertinenza acustica, di fatto per il ricettore non assumono rilevanza le infrastrutture potenzialmente concorrenti che non insistono sullo stesso fronte rispetto all'infrastruttura principale oggetto di analisi. Infatti ove la linea ferroviaria e l'infrastruttura stradale concorrente insistono su fronti opposti di nuclei di residenziali consolidati la presenza stessa dell'edificato costituisce uno ostacolo alla propagazione dell'uno o dell'altro contributo acustico e pertanto non vi è concorsualità effettiva.



Nel complessivo dei ricettori compresi nel corridoio di studio acustico, si riscontrano casi di fabbricati esposti al rumore di una o due sorgenti. Nel primo caso e cioè nel caso di ricettori esposti al solo rumore della linea ferroviaria in questione, si applicano i valori limite sintetizzati nella tabella sopra riportata. Mentre nel caso di concorsualità fra due o più infrastrutture, i valori limite di riferimento sono stati calcolati imponendo che la somma dei contributi egualmente ponderati non superasse il valore della sorgente avente massima immissione.

Nell'area oggetto di studio le infrastrutture potenzialmente concorrenti presentano limiti differenziati in funzione della tipologia di infrastruttura. A tal proposito, qualora alcuni ricettori ricadano in fasce di pertinenza acustica con limiti diversi, si è utilizzata una formulazione più generale di quella riportata nell'Allegato 4 del DM 29/11/2000, che risulta valida anche nel caso di valori limite diversi (e che coincide con quella originale nel caso di valori limite uguali):

$$\max(L_1, L_2, \dots, L_N) = 10 \cdot \log \left(\sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_i - \Delta}{10}} \right)$$

con: L1, L2, ..., LN i singoli valori limite delle N infrastrutture coinvolte

Δ = riduzione egualmente ponderata dei singoli valori limite

Nella seguente tabella si riportano le possibili combinazioni di concorsualità indicando con la lettera "A" la fascia di pertinenza acustica caratterizzata dal valore limite di 70 dB(A) diurni e 60 dB(A) notturni, con la lettera "B" la fascia di pertinenza acustica caratterizzata dal valore limite e 65 dB(A) diurni e 55 dB(A) notturni.

Fasce di pertinenza			Valori di soglia dell'infrastruttura ferroviaria	
Linea Di progetto	Prima infrastruttura concorsuale	Seconda infrastruttura concorsuale	Diurno dBA	Notturmo dBA
A	A	-	67,0	57,0
A	B	-	68,8	58,8
B	B	-	62,0	52,0
B	A	-	63,8	53,8
A	A	A	65,2	55,2
A	A	B	66,4	56,4
A	B	A	66,4	56,4
A	B	B	67,9	57,9
B	A	A	61,4	51,4
B	A	B	62,9	52,9
B	B	A	62,9	52,9
B	B	B	60,2	50,2

Tabella 3: Valori di soglia in presenza di più sorgenti concorsuali

I limiti riportati in tabella si riferiscono a edifici residenziali; in caso di edifici adibiti ad attività commerciali o uffici saranno considerati unicamente i valori diurni, in quanto relativi al periodo di riferimento in cui è prevista la permanenza di persone.

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 16 di 43

2.3 Analisi del rumore indotto in fase di esercizio

2.3.1 Modello previsionale

L'impatto prodotto dalle infrastrutture ferroviarie può essere valutato con l'ausilio di appositi modelli matematici di simulazione.

Un modello si basa sulla schematizzazione del fenomeno attraverso una serie di ipotesi semplificative che riconducono qualsiasi caso complesso alla somma di casi semplici e noti.

Per la previsione dell'impatto acustico della linea in analisi e per il dimensionamento degli interventi di abbattimento del rumore è stato utilizzato il modello di simulazione SoundPLAN 8.1

Tale modello è sviluppato dalla Braunstein & Berndt GmbH sulla base di norme e standard definiti dalle ISO da altri standards utilizzati localmente come le Shall 03 e DIN 18005 emanate della Germania Federale, le ÖAL 30 Austriache e le Nordic Kilde 130.

La peculiarità del modello SoundPLAN si basa sul metodo di calcolo per "raggi". Il sistema di calcolo fa dipartire dal ricevitore una serie di raggi ciascuno dei quali analizza la geometria della sorgente e quella del territorio, le riflessioni e la presenza di schermi.

Studiando il metodo con maggior dettaglio si vede che ad ogni raggio che parte dal ricevitore viene associata un porzione di territorio e così, via via, viene coperto l'intero territorio

Quando un raggio incontra la sorgente, il modello calcola automaticamente il livello prodotto della parte intercettata. Pertanto, sorgenti lineari come strade e ferrovie vengono discretizzate in tanti singoli punti sorgente ciascuno dei quali fornisce un contributo. La somma dei contributi associati ai vari raggi va quindi a costituire il livello di rumore prodotto dall'intera sorgente sul ricevitore.

I contributi forniti dai diversi raggi vengono evidenziati nei diagrammi di output. In tali schematizzazioni la lunghezza dei raggio è proporzionale al contributo in rumore fornito da quella direzione.

Quando un raggio incontra una superficie riflettente come la facciata di un edificio, il modello calcola le riflessioni multiple. A tal proposito l'operatore può stabilire il numero di riflessioni massimo che deve essere calcolato ovvero la soglia di attenuazione al di sotto della quale il calcolo deve essere interrotto.

Questa metodologia di calcolo consente quindi una particolare accuratezza nella valutazione della geometria del sito e risulta quindi molto preciso ed efficace in campo urbano, dove l'elevata densità di edifici, specie se di altezza elevata, genera riflessioni multiple che producono un innalzamento dei livelli sonori.

La possibilità di inserire i dati sulla morfologia dei territori, sui ricettori e sulle infrastrutture esistenti ed in progetto mediante cartografia tridimensionale consente di schematizzare i luoghi in maniera più che mai *realistica e dettagliata*. Ciò a maggior ragione se si considera che, oltre alla conformazione morfologica, è possibile associare ad elementi naturali e antropici specifici comportamenti acustici. Il modello prevede

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA					
	NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN0Y	10	F 22 RG	IM0004 001	A	17 di 43

infatti l'inserimento di appositi coefficienti che tengono conto delle caratteristiche più o meno riflettenti delle facciate dei fabbricati.

2.3.2 Dati di input del modello

L'applicazione del modello previsionale ha richiesto l'inserimento dei dati riguardanti i seguenti aspetti:

1. morfologia del territorio
2. geometria dell'infrastruttura
3. caratteristiche dell'esercizio ferroviario con la realizzazione degli interventi in progetto;
4. emissioni acustiche dei singoli convogli.

Si nota che i dati relativi ai punti 1 e 2, morfologia del territorio e geometria dell'infrastruttura, sono stati derivati da cartografia vettoriale e dalle planimetrie, profili e sezioni di progetto.

Si specifica che nella modellazione acustica sono state considerate le opere di mitigazione acustica previste in altri appalti nell'ambito dello studio acustico sulla linea storica Milano-Verona.

Lo standard di calcolo utilizzato è quello delle *Deutsche Bundesbahn* sviluppato nelle norme *Shall 03*. I parametri di calcolo adottati sono i seguenti:

Ordine di riflessione	2	Ponderazione	dB(A)
Max raggio di ricerca [m]	5000	Imposta bonus ferrovia di 5 dB	<input type="checkbox"/>
Max.distanza riflessioni da Ric. [m]	200	Considera le superfici stradali come aree "hard" (G=0)	<input checked="" type="checkbox"/>
Max.distanza riflessioni da Srg. [m]	50		
Tolleranza consentita (dB)	0,1		
Tolleranza consentita valida per..	risultato complessivo		

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA					
	NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 18 di 43

Nella Figura 2-2 si riporta il grafo della rete considerato ai fini della modellazione:

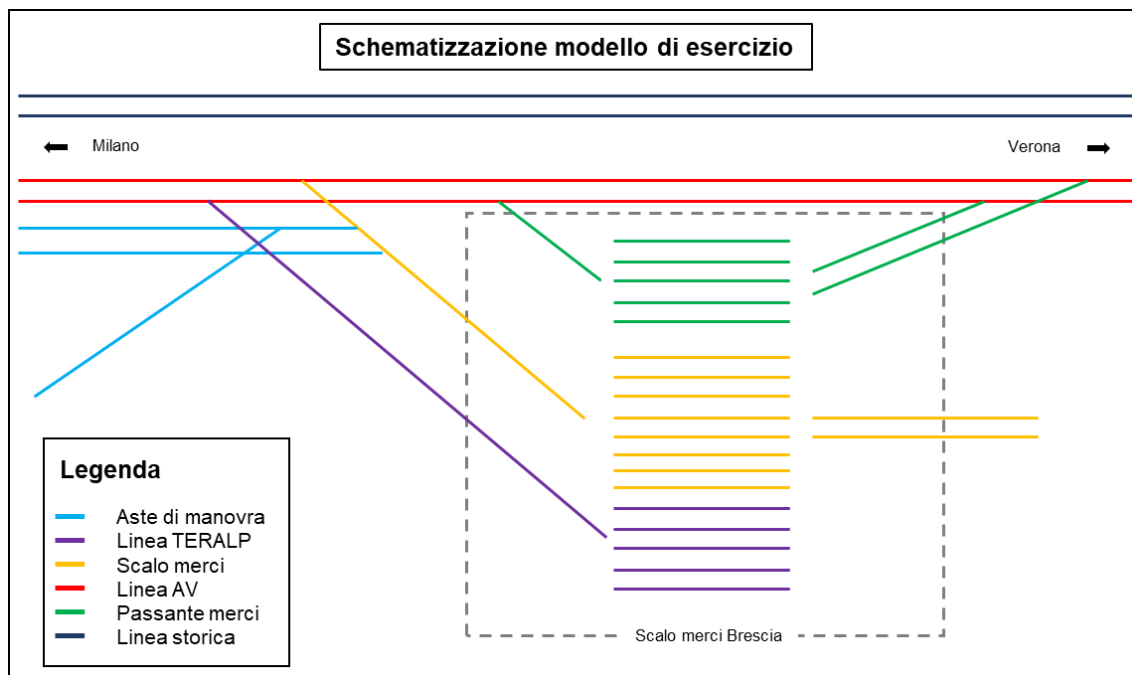


Figura 2-2 Grafo rappresentativo degli itinerari della rete

Per quanto riguarda il modello di esercizio della linea di progetto potenziamento dello scalo di Brescia e delle linee Milano-Verona sono stati considerati i seguenti dati di traffico:

Scalo merci					
Tratta	Tipo convoglio	Diurno	Notturmo	Tot.	Velocità [km/h]
Passanti	ETR-500	0	0	0	60
	Regionali	0	0	0	60
	Lunga Percorrenza	0	0	0	60
	Merci STI	13	2	15	60
	Merci PRA	3	0	3	60
Attestati	ETR-500	0	0	0	30
	Regionali	0	0	0	30
	Lunga Percorrenza	0	0	0	30
	Merci STI	14	2	16	30
	Merci PRA	4	1	5	30

Scalo merci					
Tratta	Tipo convoglio	Diurno	Notturmo	Tot.	Velocità [km/h]
Aste di manovra	ETR-500	0	0	0	30
	Regionali	0	0	0	30
	Lunga Percorrenza	0	0	0	30
	Merci STI	14	5	19	30
	Merci PRA	4	1	5	30
TERALP	ETR-500	0	0	0	30
	Regionali	0	0	0	30
	Lunga Percorrenza	0	0	0	30
	Merci STI	14	5	19	30
	Merci PRA	4	1	5	30

Tabella 2-2: Modello di esercizio linea di progetto

Per quanto concerne gli aspetti connessi alle emissioni dei rotabili, sono stati utilizzati i valori contenuti nella banca dati delle emissioni della Tabella 2 contenuta nel Documento “Piano degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore ai sensi del DM Ambiente 29/11/2000 – Relazione Tecnica” redatto da RFI e riportata nel paragrafo successivo.

Nello specifico per quanto concerne i convogli merci è stata attribuita una ripartizione dei treni pari all'80% di treni utilizzando emissioni dei treni STI e il restante 20% di utilizzando emissioni di treni PRA standard.

Unitamente alla linea di progetto si tiene conto del contributo prodotto anche della linea ferroviaria storica Milano – Brescia e della linea alta velocità Milano - Brescia, i cui dati input si riportano nella tabella di seguito:

Linea storica					
Tratta	Tipo convoglio	Diurno	Notturmo	Tot.	Velocità [km/h]
Milano - Verona	ETR-500	5	3	8	145
	Regionali	86	10	96	135
	Lunga Percorrenza	6	0	6	135
	Merci STI	23	13	36	123
	Merci PRA	6	4	10	123

Tabella 2-3 Modello di esercizio linea storica Milano - Verona

Linea alta velocità					
Tratta	Tipo convoglio	Diurno	Notturmo	Tot.	Velocità [km/h]
Milano- Piazzale merci	ETR-500	64	0	64	110
	Regionali	1	1	2	105
	Lunga Percorrenza	0	0	0	105
	Merci STI	21	2,4	23,4	100
	Merci PRA	5	1	6	100
Piazzale merci	ETR-500	64	0	64	110
	Regionali	1	1	2	105
	Lunga Percorrenza	0	0	0	105
	Merci STI	1	0	1	100
	Merci PRA	0	0	0	100
Piazzale merci - Verona	ETR-500	64	0	64	110
	Regionali	0	0	0	105
	Lunga Percorrenza	0	0	0	105
	Merci STI	18	6	24	100
	Merci PRA	5	1	6	100

Tabella 2-4 Modello di esercizio linea alta velocità Milano - Verona

Anche per quanto concerne le linee di cui in Tabella 2-4 Modello di esercizio linea alta velocità Milano - Verona

le emissioni dei rotabili, sono state stimate pari ai valori contenuti nella banca dati delle emissioni della Tabella 2 contenuta nel Documento “Piano degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore ai sensi del DM Ambiente 29/11/2000 – Relazione Tecnica” redatto da RFI.

2.3.3 Emissione dei rotabili

La verifica è stata eseguita considerando cautelativamente nel modello di simulazione SoundPLAN, per il 100% dei transiti dei convogli passeggeri e per il 20% dei transiti dei convogli merci le emissioni treno PRA RFI, utilizzando quindi i valori di emissione treno contenuti nella “Banca dati delle emissioni della Tabella 2” contenuta nel Documento “Piano degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore ai sensi del DM Ambiente 29/11/2000 – Relazione Tecnica”, redatto da RFI. Per le emissioni treno del rimanente 80% dei transiti dei convogli merci sono stati invece utilizzati i “valori limite relativi al rumore in transito”, così come definiti dalla Tabella 4 del Regolamento UE n. 1304/2014 – Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema “Materiale rotabile – Rumore”.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A

Emissioni treno PRA RFI:

Di seguito, in Tabella 2-5 si riportano i valori di emissione treno contenuti nella “Banca dati delle emissioni della Tabella 2” contenuta nel Documento “Piano degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore ai sensi del DM Ambiente 29/11/2000 – Relazione Tecnica”, redatto da RFI:

	Considerando un transito sulle 16 ore								
	dBA	63 Hz	125	250	500	1K	2K	4K	8K
ALn 668	42,3	10,3	16,5	25,8	37,1	38,2	34,2	30,1	18,6
Deviazione standard	2,2	3,9	2,9	2,6	3,0	2,5	2,3	2,4	3,4
DIR/IR	46,7	13,5	19,6	31,2	36,8	40,8	43,1	36,9	26,5
Deviazione standard	4,7	3,7	4,3	5,6	5,7	5,3	4,6	4,5	4,4
E/EN	49,1	15,1	26,3	38,1	43,0	43,3	43,2	40,2	28,6
Deviazione standard	3,2	0,5	2,5	2,8	3,3	3,2	3,0	3,9	4,3
ETR 450-460-480	41,3	7,9	12,9	20,7	25,3	30,1	39,3	34,3	21,9
Deviazione standard	3,8	3,4	3,6	4,9	5,0	4,5	3,9	4,0	3,9
ETR 500	43,0	9,4	14,2	24,1	29,2	34,2	40,9	34,2	22,2
Deviazione standard	3,0	2,7	3,2	4,1	3,6	3,2	3,2	3,3	2,9
IC	47,3	12,9	18,2	28,1	33,4	40,1	44,9	38,0	26,5
Deviazione standard	4,0	3,3	4,1	5,9	0,0	0,0	4,7	4,7	4,7
REG	44,7	13,3	20,0	30,3	36,0	38,7	40,3	35,7	25,9
Deviazione standard	4,7	4,7	4,6	5,7	5,7	5,0	4,6	4,7	5,0
REG - MET	39,3	6,3	15,8	26,5	31,7	34,3	33,4	30,3	21,7
Deviazione standard	4,1	3,6	3,8	4,4	4,9	4,7	3,7	3,6	3,5
MERCI	54,9	17,7	29,5	40,1	47,9	50,1	48,7	44,3	32,2
Deviazione standard	6,2	5,6	6,8	7,5	6,9	6,9	5,3	5,6	6,0

Tabella 2-5 Emissioni rotabili PRA: *Sommario LAeqTr diurno a 25 m per ciascun tipo di convoglio a 100 Km/h*

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A

Emissioni treno S.T.I. (Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema “Materiale rotabile – Rumore”):

Per queste emissioni dei rotabili, sono stati utilizzati i “valori limite relativi al rumore in transito”, così come definiti dalla Tabella 4 del Regolamento UE n. 1304/2014 – Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema “Materiale rotabile – Rumore”:

12.12.2014



Gazzetta ufficiale dell'Unione europea

L 356/429

Tabella 4

Valori limite relativi al rumore in transito

Categoria del sottosistema materiale rotabile	$L_{pAeq,Tp}$ (80 km/h) [dB]	$L_{pAeq,Tp}$ (250 km/h) [dB]
Locomotive elettriche e OTM a trazione elettrica	84	99
Locomotive diesel e OTM a trazione diesel	85	n.d.
EMU	80	95
DMU	81	96
Carrozze	79	n.d.
Carri (normalizzati APL = 0,225) (*)	83	n.d.

(*) Per APL si intende il numero di assili diviso per la distanza tra i respingenti [m⁻¹]

Tabella 2-6 Emissione rotabili: Tabella 4 del regolamento UE n. 1304/2014 – Specifica Tecnica di Interoperabilità “Materiale rotabile – rumore”

Le Specifiche Tecniche di Interoperabilità (di seguito STI), oltre a fissare i limiti di cui alla sopra citata Tabella 4, impongono agli Stati Membri UE l’adozione di veicoli e rotaie di nuova generazione, con sistemi di sicurezza e di aerodinamicità migliorativi rispetto allo scenario attuale.

I valori della Tabella STI si riferiscono ai singoli passaggi di unità alle velocità di 80 km/h e dove disponibili di 250 km/h, e sono relativi al tempo di transito definito dalla ISO/FDIS 3095:2013 (E). Al fine di rendere pertanto comparabili tali livelli di emissione con il software di simulazione SoundPLAN descritto nei precedenti paragrafi, sono stati normalizzati i livelli delle unità STI alla distanza di 25 metri con velocità di transito pari a 100 km/h.

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 23 di 43

Successivamente, sono stati sommati i contributi delle singole unità secondo le specifiche composizioni del materiale rotabile previsto nel Modello di Esercizio sul tratto ferroviario oggetto di studio, determinando così le emissioni acustiche secondo STI per tali treni.

2.3.4 La valutazione del rumore in fase di esercizio

L'applicazione del modello di simulazione sopra descritto ha permesso di stimare i livelli sonori con la realizzazione delle opere in progetto.

È possibile valutare il clima acustico ante e post mitigazione attraverso le Mappe Acustiche prodotte dal modello di simulazione sia per il periodo diurno che notturno (Doc. IN0Y10F22N5IM0004001A).

Nel presente studio, in particolare, le Mappe Acustiche sono state prodotte ad altezza di 4 metri dal piano campagna.

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 24 di 43

2.4 Metodi il contenimento dell'inquinamento acustico

2.4.1 Le Barriere Antirumore: requisiti acustici delle barriere antirumore, tipologie di barriere antirumore utilizzate

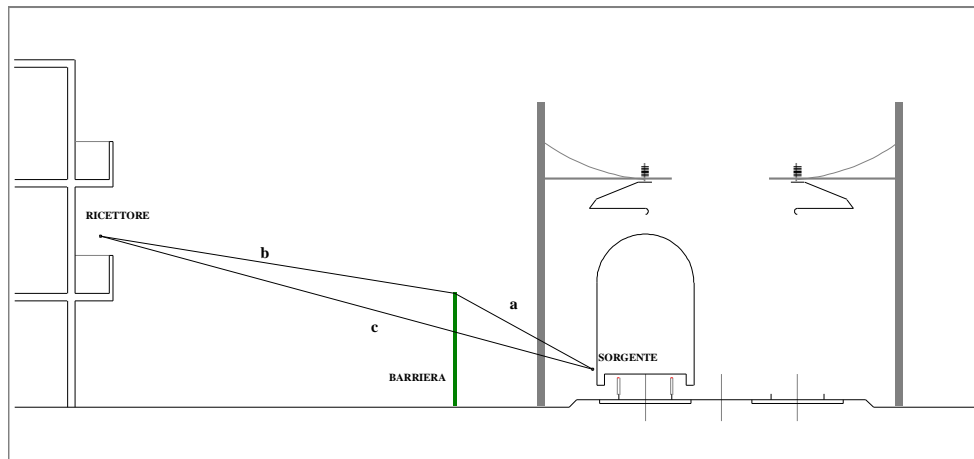
La scelta della tipologia di barriera antirumore è stata effettuata tenendo conto di tutti i criteri tecnici e progettuali atti a garantire l'efficacia globale dell'intervento. L'effetto di una barriera è condizionato dalla minimizzazione dell'energia acustica che, come noto, schematicamente si propaga attraverso:

1. l'onda diretta, che, se la barriera non è sufficientemente dimensionata, giunge in corrispondenza del ricettore senza essere condizionata da ostacoli;
2. l'onda che giunge al ricettore dopo essere stata diffratta dal bordo superiore della barriera;
3. l'onda diffratta dal bordo superiore della barriera, riflessa dal suolo e quindi diretta verso il ricettore;
4. l'onda che si riflette tra la barriera e le pareti laterali dei vagoni;
5. l'onda che giunge al ricettore per trasmissione attraverso i pannelli che compongono la barriera;
6. l'onda riflessa sulla sede ferroviaria, diffratta dal bordo superiore della barriera e quindi diretta verso il ricettore.
7. l'onda assorbita.

Per quanto riguarda i punti 1, 2, 3, e 6 risulta di importanza fondamentale il dimensionamento delle barriere in altezza lunghezza e posizione.

Relativamente ai punti 4, 5, e 7 invece sono maggiormente influenti le caratteristiche acustiche dei materiali impiegati e le soluzioni costruttive adottate in particolare devono essere opportunamente definite le proprietà fonoisolanti e fonoassorbenti della barriera. L'abbattimento prodotto da una barriera si basa comunque principalmente sulle dimensioni geometriche. L'efficienza di una barriera è infatti strettamente legata alla differenza tra il cammino diffratto sul top dell'elemento e il cammino diretto (δ):

$\delta = a+b-c$ = differenza tra cammino diretto e cammino diffratto (vedi figura)



In particolare, devono essere opportunamente definite le proprietà fonoisolanti e fonoassorbenti della barriera, attenendosi alle seguenti norme di carattere generale:

Il fonoisolamento deve essere di entità tale da garantire che la quota parte di rumore che passa attraverso la barriera sia di almeno 15 dB inferiore alla quota di rumore che viene diffratta verso i ricettori dalla sommità della schermatura.

Il fonoassorbimento è l'attitudine dei materiali ad assorbire l'energia sonora su di essi incidente, trasformandola in altra forma di energia, non inquinante (calore, vibrazioni, etc). L'adozione di materiali fonoassorbenti è utile per:

- evitare una riduzione dell'efficacia schermante totale;
- evitare un aumento della rumorosità per gli occupanti dei convogli (effetto tunnel).

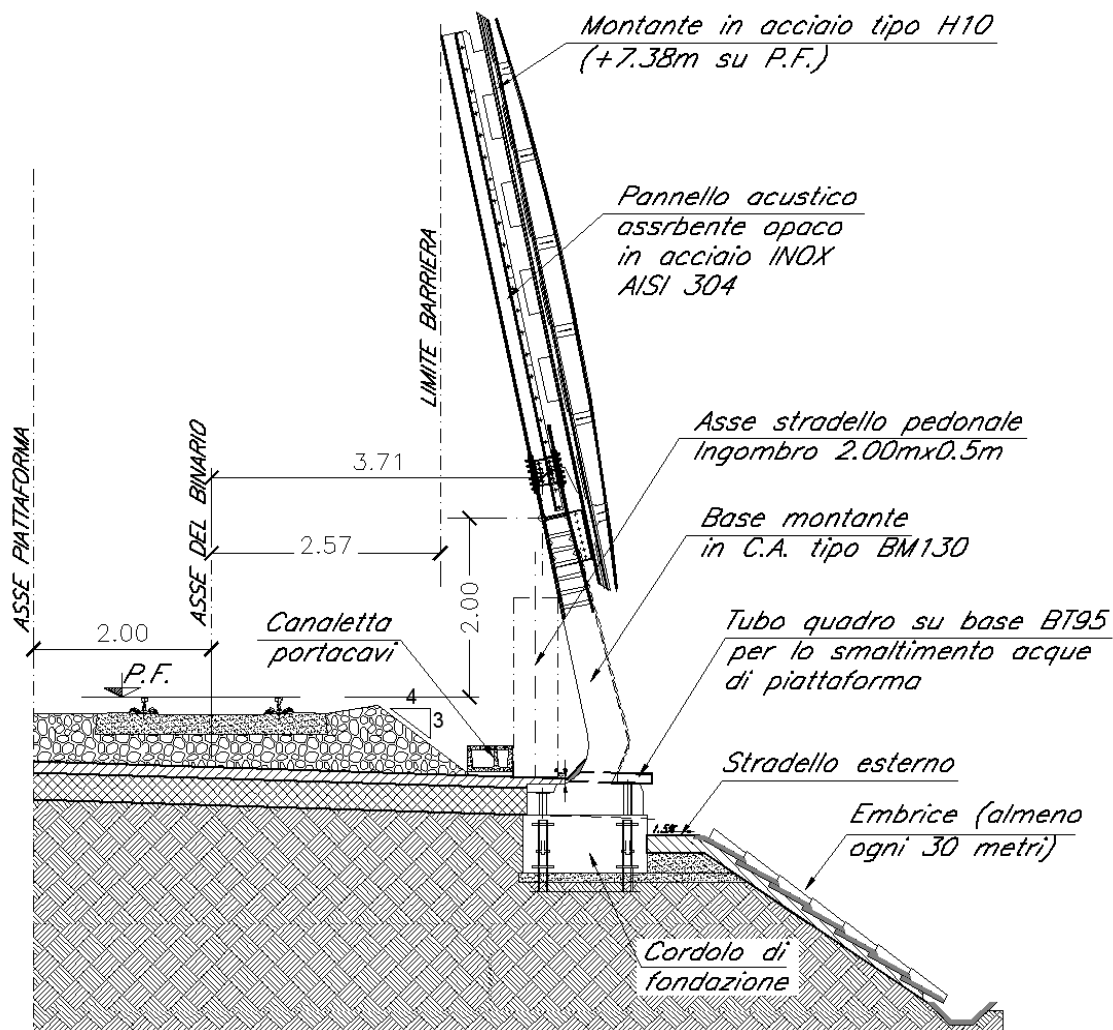
L'impiego di materiali fonoassorbenti è pertanto consigliabile nel caso ferroviario al fine di evitare una perdita di efficacia per le riflessioni multiple che si generano tra le pareti dei vagoni e la barriera stessa.

Per quanto concerne le proprietà fonoassorbenti, si suggerisce l'utilizzo di materiali con prestazioni acustiche particolarmente elevate.

2.4.2 Descrizione delle barriere antirumore

La soluzione adottata è costituita dal tipologico di schermo acustico che RFI ha appositamente sviluppato.

La barriera è nello specifico composta da un basamento in calcestruzzo fino a 2 m sul p.f. per un'altezza complessiva di 2,80 m, sormontato da una pannellatura leggera fino all'altezza di barriera definita dal dimensionamento acustico.



Sul basamento in cls è ancorata una struttura in acciaio costituita da un traliccio composto da un tubo in acciaio e due tondi calandrati a formare ciascuno un arco in un piano diagonale. La pannellatura leggera da realizzarsi sopra la parte in cls sarà interamente costituita pannelli fonoassorbenti in acciaio inox.

Al fine di ottenere il massimo rendimento acustico del sistema, il posizionamento dei pannelli fonoassorbenti lungo ogni tratto di intervento rispetta per quanto possibile le due misure seguenti:

- altimetricamente: +2.00 m sul P.F.

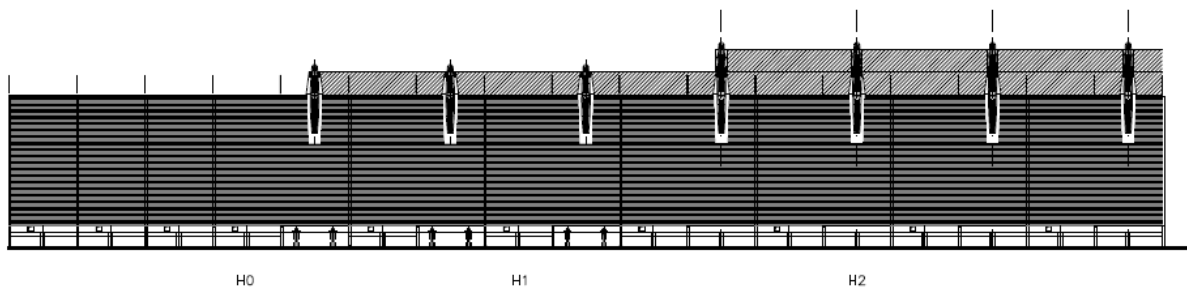
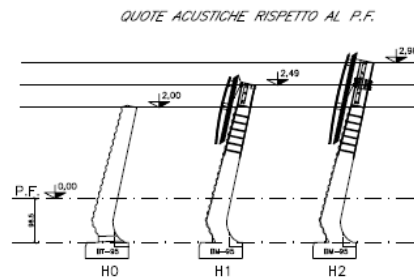
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI
2° FASE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN0Y	10	F 22 RG	IM0004 001	A	27 di 43

Studio acustico e vibrazioni – Relazione
generale

- planimetricamente: distanza minima del montante dall'asse del binario più vicino pari a 2.57 m (vedi figura)

Nelle immagini seguenti sono riportate le sezioni ed i prospetti tipo dei diversi moduli previsti per le barriere antirumore su rilevato:

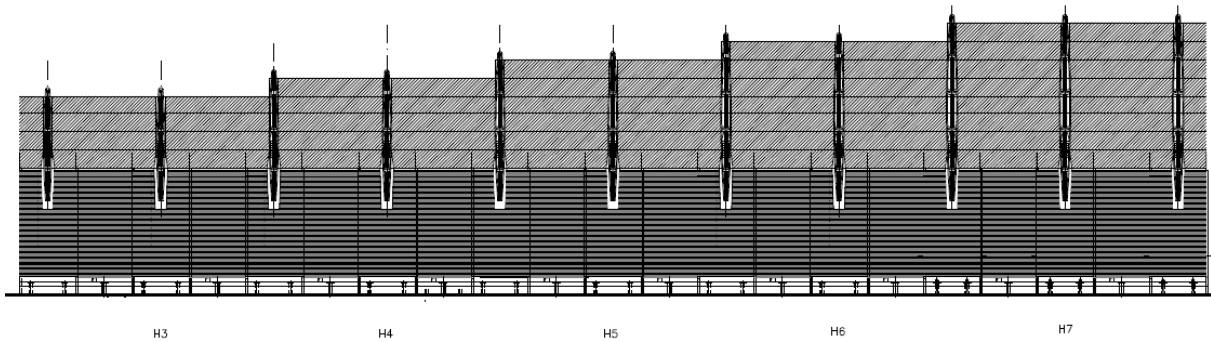
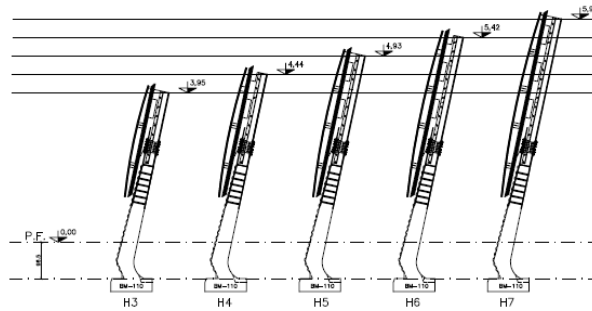


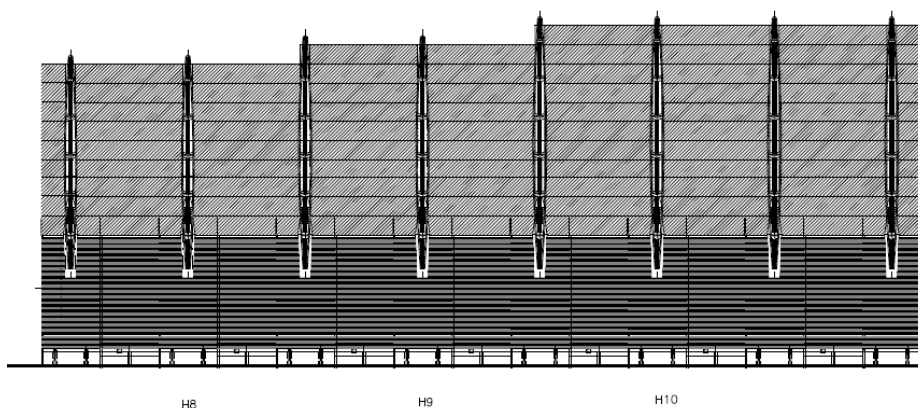
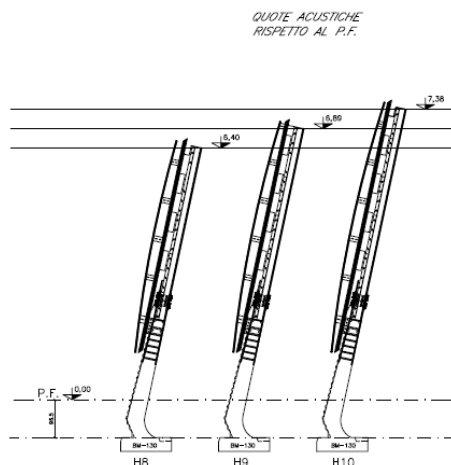
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI
2° FASE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN0Y	10	F 22 RG	IM0004 001	A	28 di 43

Studio acustico e vibrazioni – Relazione
generale

QUOTE ACUSTICHE
RISPETTO AL P.F.





Sezioni-tipo dei moduli di barriera antirumore previsti nello Studio Acustico

2.4.3 Gli interventi sugli edifici

Per ricondurre -ove necessario- all'interno degli ambienti abitativi i livelli acustici entro specifici valori è possibile intervenire direttamente sugli edifici esposti.

Nel caso di interventi sull'edificio per garantire un miglior livello di comfort, si prospettano quindi le possibilità di seguito elencate in ordine crescente di efficacia:

a) *Sostituzione dei vetri con mantenimento degli infissi esistenti*

Questa soluzione può essere utilizzata nel caso in cui si voglia ottenere un isolamento interno ad un edificio fra 28 e 33 dB rispetto al rumore in facciata e gli infissi esistenti siano di buona qualità e tenuta.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA					
	NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	IN0Y	10	F 22 RG	IM0004 001	A	30 di 43

b) Sostituzione delle finestre

Questa soluzione può essere adottata quando si desidera avere un isolamento fra 33 e 39 dB. A seconda delle prestazioni richieste è possibile:

1. installare la nuova finestra con conservazione del vecchio telaio, interponendo idonee guarnizioni, quando si vuole ottenere un isolamento fino ad un massimo di 35 dB;
2. installare una nuova finestra di elevate prestazioni acustiche con sostituzione del vecchio telaio, quando si vuole ottenere un isolamento di 36-39 dB.

Per ottenere isolamenti superiori a 37 dB è necessario in ogni caso prendere particolari precauzioni riguardo ai giunti di facciata (nel caso di pannelli prefabbricati di grosse dimensioni), alle prese d'aria (aspiratori, ecc.), ai cassonetti per gli avvolgibili, ecc.

c) Realizzazione di doppie finestre

Questa soluzione è impiegata nei casi in cui è necessario ottenere un isolamento di facciata compreso tra 39 e 45 dB. Generalmente l'intervento viene attuato non modificando le finestre esistenti, ed aggiungendo sul lato esterno degli infissi antirumore scorrevoli (in alluminio o PVC).

Con riferimento alla Norma UNI 8204 si sono stabilite tre classi R1, R2 e R3 per classificare i serramenti esterni a seconda del diverso grado di isolamento acustico RW da questi offerto.

La classe R1 include le soluzioni in grado di garantire un RW compreso tra 20 e 27 dB(A); la classe R2 le soluzioni che garantiscono un RW compreso tra 27 e 35 dB(A); la classe R3 tutte quelle soluzioni che offrono un RW superiore a 35 dB(A). I serramenti esterni che offrono un potere fonoisolante minore di 20 dB(A) non sono presi in considerazione.

In tabella sono riportate per ciascuna di queste classi alcune informazioni generiche delle soluzioni tecniche possibili in grado di garantire un fonoisolamento rientrante nell'intervallo caratteristico della classe.

Per ciascuna classe si è ritenuto opportuno offrire almeno due soluzioni tipo al fine di porre il decisore, in presenza di vincoli di natura tecnica, economica e sociale, nella condizione di operare delle scelte tra più alternative.

CLASSE R1 - $20 \leq RW \leq 27$ dB(A)

- Vetro semplice con lastra di medio spessore (4÷6 mm), e guarnizioni addizionali. Doppio vetro con lastre di limitato spessore (3 mm), e distanza tra queste di almeno 40 mm.
-

CLASSE R2 - $27 \leq RW \leq 35$ dB(A)

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA</p> <p>NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA</p>					
<p>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE</p> <p>Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IN0Y</p>	<p>LOTTO</p> <p>10</p>	<p>CODIFICA</p> <p>F 22 RG</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IM0004 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>31 di 43</p>

-
- Vetro semplice con lastra di elevato spessore (8÷10 mm) e guarnizioni addizionali. Vetro stratificato antirumore con lastra di medio/elevato spessore (6÷8 mm) e guarnizioni addizionali.
 - Doppio vetro con lastre di medio spessore (4÷6 mm) guarnizioni addizionali e distanza tra queste di almeno 40 mm.
 - Doppia finestra con vetri semplici di spessore medio (4÷6 mm) senza guarnizioni addizionali.

CLASSE R3 - RW>35 dB(A)

- Vetro stratificato antirumore di elevato spessore (10÷12 mm) e guarnizioni addizionali. Vetro camera con lastre di medio spessore (4÷6 mm), camera d'aria con gas fonoisolante e guarnizioni addizionali.
 - Doppia finestra con vetri semplici di spessore medio (4÷6 mm) e distanza tra le lastre di almeno 100 mm.
-

L'adozione di infissi antirumore può avere conseguenze in particolare sulla trasmissione di calore e sulla aerazione dei locali.

Gli aspetti che più frequentemente vengono infatti considerati come negativi, sono quelli relativi alla ventilazione ed al surriscaldamento dei locali nel periodo estivo. Ne consegue che gli infissi antifonici dovranno essere dotati anche di aeratori che potranno essere a ventilazione forzata o naturale.

2.5 Le opere di mitigazione sul territorio

L'applicazione del modello di simulazione sopra descritto ha permesso di stimare i livelli sonori con la realizzazione delle opere in progetto.

Le analisi condotte hanno messo in evidenza che allo stato di progetto non sussistono condizioni di criticità e pertanto non si è reso necessario prevedere interventi di mitigazione acustica.

Tale risultato è riconducibile ai modesti flussi traffico e le velocità moderate previste sul tratto in progetto e inoltre evidenzia la bontà degli interventi di mitigazione previsti nell'ambito dello studio acustico sulla linea storica Milano-Verona.

Tuttavia nelle successive fasi progettuali verrà eseguito uno studio acustico di dettaglio con la valutazione dei livelli sonori in facciata presso i singoli ricettori: tale approfondimento permetterà di verificare l'effettiva necessità di ricorrere ad opere di mitigazione.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA</p> <p>NODO DI BRESCIA</p> <p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA</p>					
<p>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE</p> <p>Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IN0Y</p>	<p>LOTTO</p> <p>10</p>	<p>CODIFICA</p> <p>F 22 RG</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IM0004 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>32 di 43</p>

3 STUDIO VIBRAZIONALE

3.1 Riferimenti normativi

A differenza del rumore ambientale, regolamentato a livello nazionale dalla Legge Quadro n. 447/95, non esiste al momento alcuna legge che stabilisca limiti quantitativi per l'esposizione alle vibrazioni. Esistono invece numerose norme tecniche, emanate in sede nazionale ed internazionale, che costituiscono un utile riferimento per la valutazione del disturbo in edifici interessati da fenomeni di vibrazione.

Per quanto riguarda il disturbo alle persone, i principali riferimenti sono costituiti dalla norma ISO 2631 / Parte 2 "Evaluation of human exposure to whole body vibration / "Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz)". La norma assume particolare rilevanza pratica poiché ad essa fanno riferimento le norme tecniche per la redazione degli Studi di Impatto Ambientale relativi alla componente ambientale "Vibrazioni", contenute nel D.P.C.M. 28/12/1988. Ad essa, seppur con alcune non trascurabili differenze, fa riferimento la norma UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo".

Si riporta di seguito la principale normativa tecnica esistente in riferimento all'aspetto ambientale vibrazioni.

ISO2631 "Valutazione sull'esposizione del corpo umano alle vibrazioni"

La ISO 2631-2 si applica a vibrazioni trasmesse da superfici solide lungo gli assi x, y e z per persone in piedi, sedute o coricate. Il campo di frequenze considerato è 1÷80 Hz e il parametro di valutazione è il valore efficace dell'accelerazione a_{rms} definito come:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}$$

dove $a(t)$ è l'accelerazione in funzione del tempo, T è la durata dell'integrazione nel tempo dell'accelerazione. La norma definisce tre curve base per le accelerazioni e tre curve base per le velocità (in funzione delle frequenze di centro banda definite per terzi di ottava) che rappresentano le curve approssimate di uguale risposta in termini di disturbo, rispettivamente per le accelerazioni riferite all'asse Z, agli assi X,Y e alla combinazione dei tre assi.

L'Annex A della ISO 2631-2 (che non rappresenta peraltro parte integrale della norma) fornisce informazioni sui criteri di valutazione della risposta soggettiva alle vibrazioni; in pratica sono riportati i fattori di moltiplicazione da applicare alle curve base delle accelerazioni e delle velocità al variare del periodo di riferimento (giorno e notte), del tipo di vibrazione (vibrazioni continue o intermittenti, vibrazioni

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA					
	NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 33 di 43

transitorie) e del tipo di insediamento (ospedali, laboratori di precisione, residenze, uffici, industrie). Le vibrazioni devono essere misurate nel punto di ingresso nel corpo umano e deve essere rilevato il valore di accelerazione r.m.s. perpendicolarmente alla superficie vibrante. Nel caso di edifici residenziali in cui non è facilmente definibile un asse specifico di vibrazione, in quanto lo stesso edificio può essere usato da persone in piedi o coricate in diverse ore del giorno, la norma presenta una curva limite che tiene conto delle condizioni più sfavorevoli combinate in tre assi.

UNI 9614:1990 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo"

La norma è sostanzialmente in accordo con la ISO 2631-2. Tuttavia, sebbene le modalità di misura siano le stesse, la valutazione del disturbo è effettuata sulla base del valore di accelerazione r.m.s. ponderato in frequenza, il quale è confrontato con una serie di valori limite dipendenti dal periodo di riferimento (*giorno*, dalle 7:00 alle 22:00, e *notte*, dalle 22:00 alle 7:00) e dalle destinazioni d'uso degli edifici. Generalmente, tra le due norme, la UNI 9614 si configura come più restrittiva. I livelli di soglia indicati dalla suddetta norma sono riportati nella tabella seguente:

Luogo	Accelerazione [m/s ²]	L [dB]
Aree critiche	3.3 * 10 ⁻³	71
Abitazioni (notte)	5.0*10 ⁻³	74
Abitazioni (giorno)	7.2*10 ⁻³	77
Uffici	14.4*10 ⁻³	83
Fabbriche	28.8*10 ⁻³	89

Tabella 3-1 Valori di soglia di vibrazione relativi al disturbo alle persone (UNI 9614)

Considerato che gli effetti prodotti dalle vibrazioni sono differenti a seconda della frequenza delle accelerazioni, vanno impiegati dei filtri che ponderano le accelerazioni a seconda del loro effetto sul soggetto esposto. Tali filtri rendono tutte le componenti dello spettro equivalenti in termini di percezione e quindi di disturbo. I simboli dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza e del corrispondente livello sono rispettivamente, a_w e L_w . Quest'ultimo, espresso in dB, è definito come $L_w = 20 \log_{10} (a_w / 10^{-6} \text{ ms}^{-2})$. Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo l'asse z prevede una attenuazione di 3 dB per ottava tra 4 e 1 Hz, una attenuazione nulla tra 4 e 8 Hz ed una attenuazione di 6 dB per ottava tra 8 e 80 Hz. Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo gli assi x e y prevede un'attenuazione nulla tra 1 e 2 Hz e una attenuazione di 6 dB per ottava tra 2 e 80 Hz. La banda di frequenza 1-80 Hz deve essere limitata da un filtro passabanda con una pendenza asintotica di 12 dB per ottava. Nel caso la postura del soggetto esposto non sia nota o vari nel tempo, va impiegato il

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA</p> <p>NODO DI BRESCIA</p> <p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA</p>					
<p>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE</p> <p>Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IN0Y</p>	<p>LOTTO</p> <p>10</p>	<p>CODIFICA</p> <p>F 22 RG</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IM0004 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>34 di 43</p>

filtro definito nel prospetto I della norma, ottenuto considerando per ogni banda il valore minimo tra i due filtri suddetti. In alternativa, i rilievi su ogni asse vanno effettuati utilizzando in successione i filtri sopraindicati; ai fini della valutazione del disturbo verrà considerato il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza più elevato. Nell'Appendice della norma UNI 9614, che non costituisce parte integrante della norma, si indica che la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni di livello costante deve essere svolta confrontando i valori delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, o i corrispondenti livelli più elevati riscontrati sui tre assi, con una serie di valori limite riportati nei prospetti II e III. Quando i valori o i livelli delle vibrazioni in esame superano i limiti, le vibrazioni possono essere considerate oggettivamente disturbanti per il soggetto esposto. Nel caso di vibrazioni di tipo impulsivo è necessario misurare il livello di picco dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza; tale livello deve essere successivamente diminuito di 3 dB al fine di stimare il corrispondente livello efficace. I limiti possono essere adottati se il numero di eventi impulsivi giornalieri non è superiore a 3. Nel caso si manifestino più di 3 eventi impulsivi giornalieri i limiti fissati per le abitazioni, gli uffici e le fabbriche vanno diminuiti in base al numero di eventi e alla loro durata, moltiplicandoli per un fattore correttivo F. Nessuna riduzione può essere applicata per le aree critiche. Nel caso di impulsi di durata inferiore a 1 s si deve porre $F = 1.7 \cdot N^{-0.5}$. Per impulsi di durata maggiore si deve porre $F = 1.7 \cdot N^{-0.5} \cdot t^{-k}$, con $k = 1.22$ per pavimenti in calcestruzzo e $k = 0.32$ per pavimenti in legno. Qualora i limiti così calcolati risultassero inferiori ai limiti previsti per le vibrazioni di livello stazionario, dovranno essere adottati questi ultimi valori.

UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici"

I danni agli edifici determinati dalle vibrazioni vengono trattati dalla UNI 9916 "*Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici*", norma in sostanziale accordo con i contenuti tecnici della ISO 4866 e in cui viene richiamata, sebbene non faccia parte integrante della norma, la DIN 4150, parte 3. La norma UNI 9916 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii allo scopo di permettere anche la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica. Altro scopo della norma è di ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o su edifici diversi a parità di sorgente di eccitazione, nonché di fornire criteri di valutazione degli effetti delle vibrazioni medesime. La norma considera per semplicità gamme di frequenza variabili da 0.1 a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (vento, terremoti, ecc.) nonché ad eccitazioni causate dall'uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l'intervallo di frequenza delle vibrazioni può essere più ampio, tuttavia le eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell'edificio. L'Appendice A della UNI 9916 contiene una guida semplificata per la classificazione degli edifici secondo la loro probabile reazione alle vibrazioni meccaniche trasmesse attraverso il terreno. Nell'ambito di questa classificazione, un sistema dinamico è costituito dal terreno e dallo strato di base (magrone) sul quale si trovano le fondazioni oltre che la struttura medesima dell'edificio.

Le strutture comprese nella classificazione riguardano:

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 35 di 43

- tutti gli edifici residenziali e gli edifici utilizzati per le attività professionali (case, uffici, ospedali, case di cura, ecc.);
- gli edifici pubblici (municipi, chiese, ecc.);
- edifici vecchi ed antichi con un valore architettonico, archeologico e storico;
- le strutture industriali più leggere spesso concepite secondo le modalità costruttive in uso per gli edifici abitativi.

La classificazione degli edifici (Prospetto III) è basata sulla loro resistenza strutturale alle vibrazioni oltre che sulla tolleranza degli effetti vibratorii sugli edifici in ragione del loro valore architettonico, archeologico e storico. I fattori dai quali dipende la reazione di una struttura agli effetti delle vibrazioni sono:

- la categoria della struttura
- le fondazioni
- la natura del terreno

La categoria di struttura (Prospetto II) è classificata in una scala da 1 a 8 (a numero crescente di categoria corrisponde una minore resistenza alle vibrazioni) in base ad una ripartizione in due gruppi di edifici, edifici vecchi e antichi o strutture costruite con criteri tradizionali (Gruppo 1) e edifici e strutture moderne (Gruppo 2). L'associazione della categoria viene fatta risalire alle caratteristiche tipologiche e costruttive della costruzione e al numero di piani.

Le fondazioni sono classificate in tre classi. La Classe A comprende fondazioni su pali legati in calcestruzzo armato e acciaio, platee rigide in calcestruzzo armato, pali di legno legati tra loro e muri di sostegno a gravità; la Classe B comprende pali non legati in calcestruzzo armato, fondazioni continue, pali e platee in legno; la Classe C infine comprende i muri di sostegno leggeri, le fondazioni massicce in pietra e la condizione di assenza di fondazioni, con muri appoggiati direttamente sul terreno.

Il terreno viene classificato in sei classi: rocce non fessurate o rocce molto solide, leggermente fessurate o sabbie cementate (Tipo a); terreni compattati a stratificazione orizzontale (Tipo b); terreni poco compattati a stratificazione orizzontale (Tipo c); piani inclinati, con superficie di scorrimento potenziale (Tipo d); terreni granulari, sabbie, ghiaie (senza coesione) e argille coesive sature (Tipo e) e materiale di riporto (Tipo f).

L'Appendice B della UNI 9916 contiene i criteri di accettabilità dei livelli delle vibrazioni con riferimento alla DIN 4150 e al Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 24 gennaio 1986 "*Norme tecniche relative alle costruzioni in zona sismica.*" La parte 3 della DIN 4150 indica le velocità massime ammissibili per vibrazioni transitorie:

- sull'edificio (nel suo complesso)
- sui pavimenti: $v < 20$ mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione e le velocità massime ammissibili per vibrazioni stazionarie;
- sull'edificio (nel suo complesso): $v < 5$ mm/s in direzione orizzontale sull'ultimo piano

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA</p> <p>NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA</p>					
<p>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE</p> <p>Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IN0Y</p>	<p>LOTTO</p> <p>10</p>	<p>CODIFICA</p> <p>F 22 RG</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IM0004 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>36 di 43</p>

- sui pavimenti: $v < 10$ mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione.

Per velocità massima è da intendersi la velocità massima di picco. Essa è ricavabile dalla velocità massima r.m.s. attraverso la moltiplicazione di quest'ultima con il fattore di cresta F. Tale parametro esprime il rapporto tra il valore di picco e il valore efficace. Per onde sinusoidali si assume $F = 1.41$; in altri casi si possono assumere valori maggiori. Nei casi più critici (ed es. esplosioni di mina) F può raggiungere il valore 6. La ISO 4866 fornisce infine una classificazione degli effetti di danno a carico delle strutture secondo tre livelli:

- *Danno di soglia*: formazione di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o accrescimento di fessure già esistenti sulle superfici in gesso o sulle superfici di muri a secco; inoltre formazioni di fessure filiformi nei giunti di malta delle costruzioni in muratura di mattoni. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata, con frequenze maggiori di 4 Hz e velocità di vibrazione di 4÷50 mm/s, e per vibrazioni continue, con velocità 2÷5 mm/s.
- *Danno minore*: formazione di fessure più aperte, distacco e caduta di gesso o di pezzi di intonaco dai muri; formazione di fessure in murature di mattoni. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz nel campo di velocità vibrazionale compreso tra 20÷100 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 3÷10 mm/s.
- *Danno maggiore*: danneggiamento di elementi strutturali; fessure nei pilastri; aperture di giunti; serie di fessure nei blocchi di muratura. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz e velocità vibrazionale compresa tra 20÷200 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 5÷20 mm/s.

3.2 Analisi delle vibrazioni in fase di esercizio

3.2.1 Modello previsionale

La costruzione e l'esercizio di una linea ferroviaria sono fonte di sollecitazioni dinamiche nel terreno circostante caratterizzate da una modesta fascia di influenza, in genere inferiore ai 50 m. In questa fascia le vibrazioni possono generare disturbo alla popolazione residente o a determinate attività umane, ma risulta estremamente improbabile che esse possano causare effettivi danni alle strutture.

Il disturbo alle persone, definito in letteratura come *annoyance*, dipende dall'intensità e frequenza dell'evento disturbante e dal tipo di attività svolta. L'*annoyance* deriva dalla combinazione di effetti che coinvolgono la percezione uditiva e la percezione tattile delle vibrazioni. Gli effetti sulle persone sono estesi all'intero corpo e possono essere ricondotti genericamente ad un aumento dello stress, con conseguente attivazione di ripetute reazioni di orientamento e di adattamento, e con eventuale insorgenza o aggravamento di malattie ipertensive.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA					
	NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	IN0Y	10	F 22 RG	IM0004 001	A	37 di 43

Le vibrazioni possono in alcune situazioni, od in presenza di caratteristiche di estrema suscettività strutturale o di elevati/prolungati livelli di sollecitazione dinamica, causare danni agli edifici. Tali situazioni si verificano tuttavia in corrispondenza di livelli di vibrazione notevoli, superiori di almeno un ordine di grandezza rispetto ai livelli tipici dell'annoyance. Per la valutazione delle soglie di accettabilità relative a tali effetti sono state elaborate norme tecniche nazionali (UNI) e internazionali (ISO), le quali, pur non avendo validità di legge, forniscono un riferimento per la valutazione dei fenomeni vibratorii.

Il modello previsionale utilizzato nel caso della linea ferroviaria in studio si basa sul modello di propagazione teorico definito dal metodo di Kim e Lee che combina l'attenuazione geometrica e dissipativa secondo la seguente relazione per materiali omogenei (valido per tutti i tipi di onde P, S ed R):

$$a(d, f) = a_0(d_0, f) \cdot \frac{r_0}{r} \cdot e^{-2\pi f \left(\frac{\eta}{c}\right)(r-r_0)}$$

dove a è l'accelerazione alla distanza r dalla sorgente, a_0 è l'ampiezza alla distanza r_0 dalla sorgente, f la frequenza, η il coefficiente di smorzamento, c la velocità di propagazione delle onde. Il fattore di smorzamento, η può essere desunto da dati di letteratura, mentre il coefficiente n dipende dal tipo di sorgente di vibrazioni e dal tipo di onda.

Localizzazione della sorgente	Tipologia di sorgente	Tipo di onda indotta nel terreno	coefficiente n
Superficie	Puntiforme	Onda di volume	2,0
		Onda superficiale	0,5
	Lineare	Onda di volume	1,0
		Onda superficiale	0
Sotterranea	Puntiforme	Onda di volume	1,0
	Lineare		0,5

3.2.1.1 Caratterizzazione della sorgente

Interazione ruota-rotaia

La sorgente di vibrazioni ferroviaria consiste nel movimento del treno lungo le rotaie e dalle conseguenti forze che nascono nell'interazione fra ruota, rotaia e struttura di appoggio della rotaia. I treni, in fase di riposo, esercitano una forza statica data dal peso trasmesso dalle ruote alle rotaie e distribuito dalla rotaia stessa, dalle traversine, dal supporto (ballast...) e dal terreno: si tratta del carico statico. Quando il treno si mette in movimento questa forza si sposta insieme al treno stesso, ma a causa delle imperfezioni e irregolarità superficiali di ruota, rotaia nonché delle variazioni nel tipo di supporto della

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 38 di 43

rotaia il carico statico eserciterà una forza dinamica, che si trasforma in vibrazioni generate nel punto di contatto ruota-rotaia e trasmesse nel terreno circostante. I parametri che influenzano il livello e le caratteristiche delle vibrazioni indotte dal passaggio del treno sono:

- **Vibrazioni indotte dalla risposta della struttura del binario**
 - Carico statico assiale (peso del treno e spaziatura interassiale),
 - Geometria e composizione del treno (tipo, lunghezza...),
 - Velocità del treno,
- **Interfaccia ruota-rotaia**
 - Imperfezioni della ruota (eccentricità, sbilanciamento, zone piatte, asperità),
 - Andatura instabile dei veicoli ferroviari;
 - Accelerazione e decelerazione del treno,
- **Imperfezioni della rotaia**
 - Qualità della rotaia (corrugamenti, corrosione, asperità, giunti...),
 - Curve e chicane (forze centrifughe)
- **Variazioni nella struttura di supporto**
 - Geometria e rigidità della struttura di supporto (traversine, ballast e terreno),
 - Presenza di ghiaccio.

Un aumento del carico assiale aumenta ovviamente il carico dinamico generato dal passaggio del treno. Il raddoppio del carico assiale può aumentare i livelli di vibrazione da 2 a 4 dB (Kurzweil, 1979). La composizione dei treni ha inoltre un impatto notevole sulla generazione di vibrazioni, così come la velocità stessa del treno può portare a notevoli incrementi di vibrazione: secondo Kurzweil (1979) un raddoppio della velocità può comportare un aumento di vibrazione da 4 a 6 dB. Le imperfezioni superficiali della rotaia e della ruota sono la causa principale delle vibrazioni: le tipiche irregolarità superficiali delle ruote sono zone lisce (piatte) dovute alla frenatura. Le irregolarità della rotaia possono essere costituite da giunti fra spezzoni di rotaia (rotaie non saldate), corrugamenti, asperità o altro ancora. Secondo Kurzweil questi difetti possono aumentare i livelli di vibrazione da 10 a 20 dB. Altre cause di vibrazione sono le curve, accelerazioni/decelerazioni del convoglio, guida instabile dei veicoli, etc.

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA					
	NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	IN0Y	10	F 22 RG	IM0004 001	A	39 di 43

Le variazioni nella struttura di supporto delle rotaie dipendono dalla geometria, rigidità e spaziatura fra le traversine. una traversina può perdere il contatto con il ballast sottostante, oppure si può verificare che una traversina sia supportata dal ballast meglio di quelle circostanti: in questo caso essa genererà una maggiore resistenza al passaggio del treno. E' piuttosto comune individuare un picco corrispondente alla frequenza della spaziatura delle traversine e in funzione della velocità del treno. Anche la rigidità e l'eterogeneità del ballast possono influenzare le forze generate dal transito del treno.

Come descritto sopra, il carico generato dai treni è dovuto ad un carico statico, dovuto al peso del treno, e ad un carico dinamico, generato dalle imperfezioni della rotaia, ruote, struttura di appoggio. I carichi dinamici variano il carico (e quindi la forza) complessiva trasmessa nella misura percentuale relativa al carico statico descritta nella seguente tabella.

Tipo di carico	Carico	Contributo
Statico	Peso del treno	100%
Dinamico	Contributo quasi-statico nelle curve	10-40%
“	Contributo dovuto ad asperità delle rotaie	50 – 300%
“	Contributo dovuto ad asperità delle ruote	50 – 300 %
“	Contributo dovuto ad accelerazioni e frenature	5 – 20 %

Spettro di emissione dei transiti ferroviari

Per quanto concerne l'emissione dei transiti ferroviari, non disponendo di rilievi sperimentali in situ per la caratterizzazione della sorgente emissiva ferroviaria, dato l'attuale non utilizzo del collegamento, si è fatto riferimento ai risultati ottenuti da una campagna di rilievi effettuati su un terreno di caratteristiche simile a quello di progetto, ad una distanza pari a 5 metri e una velocità media di circa 40 km/h.

Tali rilievi eseguiti hanno permesso di determinare:

- l'entità e la variabilità dei transiti ferroviari in un numero statisticamente significativo alla sorgente;
- le caratteristiche di emissione delle vibrazioni di origine ferroviaria;
- le modalità di propagazione delle vibrazioni con una validazione sperimentale attraverso la funzione di trasferimento

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 40 di 43

Le emissioni di vibrazioni si concentrano nella gamma 20 Hz – 500 Hz, con un picco energetico fra i 30 e i 600 Hz. Gli spettri rilevati sono stati utilizzati come riferimento per il calcolo previsionale a partire dalla sorgente. Nello specifico per treni tipo passeggeri si è registrato un valore medio delle accelerazioni per l'asse critico pari a 84,7 dB. Con queste ipotesi (spettro massimo rilevato) si ritiene di calcolare l'immissione presso i potenziali ricettori con criteri particolarmente cautelativi.

3.2.2 La valutazione delle vibrazioni indotte in fase di esercizio

Il modello di esercizio considerato come dato di input è uguale a quello assunto per lo studio acustico per la linea in progetto lungo le aste di manovra, ovvero pari a 18 convogli transitanti nel periodo diurno e 8 in quello notturno.

Nello specifico cautelativamente si è preso in considerazione il caso critico in cui si ha la sovrapposizione degli effetti dovuti alla presenza di due aste di manovra adiacenti e per le quali è stato dunque ipotizzato il passaggio di 28 convogli nel periodo diurno e 12 in quello notturno.

Si evidenzia inoltre che per tale studio non si è fatto riferimento alla sovrapposizione degli effetti dovuti alla coesistenza della linea Milano – Brescia, in quanto lo studio è finalizzato alla valutazione del solo disturbo indotto dalla linea in progetto e all'individuazione delle eventuali specifiche soluzioni mitigative.

Come già detto al paragrafo precedente per la valutazione delle vibrazioni indotte in fase di esercizio si è fatto riferimento ai risultati ottenuti da una campagna di rilievi effettuati su un terreno di caratteristiche simili a quello di progetto, ad una distanza pari a 5 metri e una velocità media di circa 40 km/h. Dall'analisi previsionale utilizzando i dati sperimentali emissivi caratteristici di un singolo transito ferroviario di un convoglio merci unitamente al contesto orografico ed antropico dell'area di Brescia interessata dall'intervento in progetto e una volta eseguite le opportune correzioni delle velocità (da 40 km/h a 30 km/h) si è proceduto al calcolo della funzione di trasferimento determinata per un singolo transito di un convoglio ferroviario.

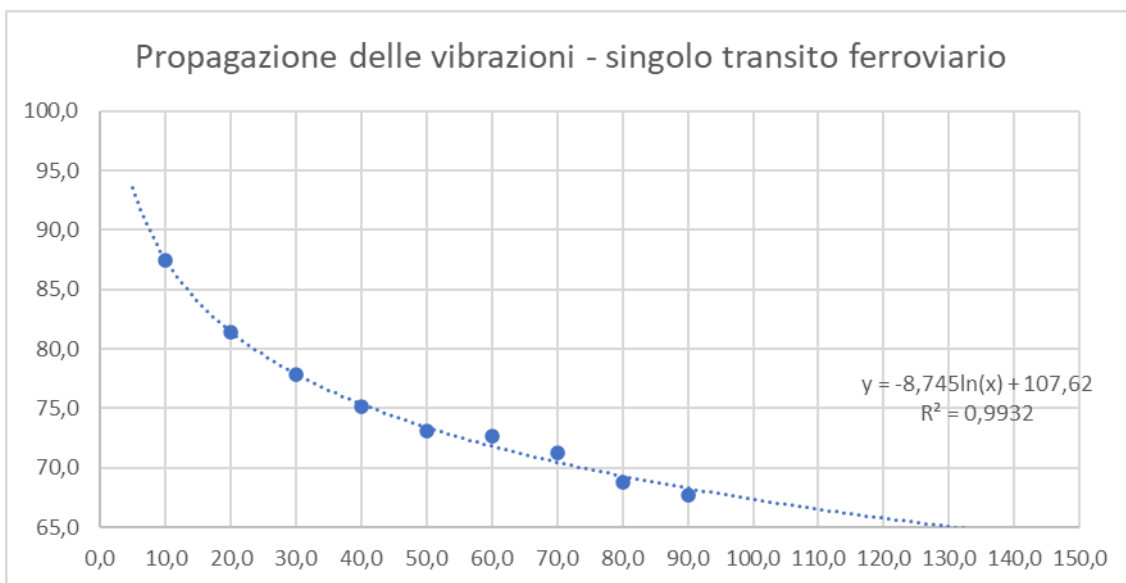


Figura 3-1 Funzione di trasferimento per la propagazione delle vibrazioni determinata per un singolo transito di un convoglio ferroviario merci

A partire dalla funzione di trasferimento per la propagazione delle vibrazioni per il singolo convoglio ferroviario, è stato infine calcolato il contributo del transito totale dei treni previsti sulla linea di progetto distribuiti nei periodi di riferimento diurno e notturno.

Considerando quindi l'intero numero di transiti ferroviari sia nel periodo diurno che in quello notturno, dall'applicazione del modello previsionale così come costruito per l'asse di progetto emerge che non si hanno criticità e dunque non si registrano superamenti dei livelli limite individuati dalla UNI 9614:1990.

Nello specifico, applicando la legge di propagazione delle onde vibrazionali sopra riportata, si è individuata la distanza dall'asse del binario più esterno alla quale viene raggiunto il valore di riferimento indicato dalla norma UNI 9614 nel periodo diurno (77 dB) e nel periodo notturno (74 dB), per le due tratte di progetto.



LEGENDA

- Asse di progetto
- Fascia rispetto limiti notturni UNI 9614 (5 metri)
- Ricettori residenziali
- Altri ricettori
- Ricettori oggetto di esproprio

Figura 3-2: Fasce di rispetto limite diurno UNI 9614

Come si evince dalla figura il limite notturno di 74 dB individuato dalla UNI 9614 viene raggiunto ad una distanza pari a 5 metri, distanza entro la quale non emergono criticità.

Alla luce della analisi preliminare condotta non emergono quindi criticità legate alle vibrazioni indotte dal transito dei convogli ferroviari, tuttavia si rimanda ad ulteriori approfondimenti nelle successive fasi di progettazione.

	LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE Studio acustico e vibrazioni – Relazione generale	COMMESSA IN0Y	LOTTO 10	CODIFICA F 22 RG	DOCUMENTO IM0004 001	REV. A	FOGLIO 43 di 43

4 CONCLUSIONI

Lo studio acustico e vibrazionale è stato finalizzato alla valutazione previsionale del potenziale impatto acustico e vibrazionale sui ricettori localizzati lungo l'asse di progetto della linea ferroviaria oggetto di studio.

In riferimento al tema "Rumore", l'applicazione del modello di simulazione ha permesso di stimare i livelli sonori con la realizzazione delle opere in progetto.

Le analisi condotte hanno messo in evidenza che allo stato di progetto non sussistono condizioni di criticità e pertanto non si è reso necessario prevedere interventi di mitigazione acustica.

Tale risultato è riconducibile ai modesti flussi traffico e le velocità moderate previste sul tratto in progetto e inoltre evidenzia la bontà degli interventi di mitigazione previsti nell'ambito dello studio acustico sulla linea storica Milano-Verona.

Tuttavia nelle successive fasi progettuali verrà eseguito uno studio acustico di dettaglio con la valutazione dei livelli sonori in facciata presso i singoli ricettori: tale approfondimento permetterà di verificare l'effettiva necessità di ricorrere ad opere di mitigazione.

In riferimento invece alla tematica "Vibrazioni", lo studio è finalizzato alla verifica delle condizioni di esposizione alle vibrazioni indotte dall'esercizio della linea ferroviaria sui ricettori posti in una fascia di 50 metri lungo lo sviluppo dei binari.

La verifica dei livelli vibrazionali indotti è stata eseguita rispetto ai valori assunti come riferimento per la valutazione del disturbo in corrispondenza degli edifici così come individuati dalla norma UNI 9614:1990 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo". Il modello previsionale assunto per la stima dei livelli di accelerazione si basa sull'individuazione di un modello di propagazione delle onde vibrazionali di tipo teorico a partire da valori di emissione dei transiti ferroviari passeggeri determinati sperimentalmente in un caso studio simile a quello di progetto.

Facendo riferimento ai valori di riferimento indicati dalla norma UNI 9614:1990 per le abitazioni nei due periodi di riferimento diurno (77 dB) e notturno (74 dB), sono stati calcolati i valori di accelerazione in dB in corrispondenza degli edifici in ragione della mutua distanza ricettore-binario.

Lo studio previsionale non ha messo in evidenza condizioni di potenziale criticità connesse alla linea in progetto.