

**Mappatura acustica
degli assi ferroviari
principali con più di
30.000 convogli
all'anno all'interno
degli agglomerati con
più di 100.000 abitanti
ai sensi del
D.Lgs.194/05**

Relazione tecnica

Indice

1. Premessa	3
2. L'analisi della normativa di legge	4
3. La metodologia dello studio	6
3.1 Modello di simulazione acustica "RFI-INAC"	7
3.1.1 Descrizione del modello "RFI-INAC"	9
3.1.1.1 Caratteristiche generali	9
3.1.1.2 Modello di emissione	10
3.1.1.3 Modello di propagazione	12
4. L'analisi del traffico ferroviario	17
5. Il sistema informativo territoriale	19
6. La modalità di presentazione dei risultati	20
6.1 Mappe e livelli acustici georeferenziati	20
6.2 Noise Directive Data Flows (Eionet)	21
6.3 Metadati	21
6.4 Dati di traffico	21
7. Le conclusioni	22

1. Premessa

Nella presente *Relazione Tecnica* viene illustrata la metodologia utilizzata nello studio eseguito da RFI -Rete Ferroviaria Italiana-, la società dell'infrastruttura del Gruppo Ferrovie dello Stato, per la mappatura acustica degli assi ferroviari principali con più di 30.000 convogli all'anno della propria rete infrastrutturale in esercizio, inclusi negli agglomerati con più di 100.000 abitanti.

Lo studio è stato eseguito secondo i criteri indicati nel Decreto Legislativo 19 agosto 2005 n. 194 “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale” e, in particolare, risponde a quanto previsto all'articolo 3, comma 4.

Sono stati elaborati gli agglomerati notificati dalle Regioni al Ministero della Transizione Ecologica (ex MATTM) e da quest'ultimo comunicati a RFI.

Al fine di agevolare la redazione della mappatura acustica strategica da parte delle autorità competenti degli agglomerati, in aggiunta a quanto previsto dall'art. 3, comma 4, del D.Lgs.194/05, viene fornita la mappatura di tutti gli assi ferroviari compresi all'interno dei suddetti agglomerati.

La precedente mappatura acustica, redatta in base all'art. 3 comma 4 del D.Lgs.194/05 e trasmessa con la nota RFI-DTC-SI\A0011\P\2016\0000800 del 29/12/2016, può considerarsi superata ai sensi dell'art. 3 comma 6 dello stesso decreto.

La presente *Relazione Tecnica* è articolata nei seguenti punti:

- l'analisi della normativa di legge;
- la metodologia dello studio;
- il modello di simulazione acustica “RFI-INAC”;
- l'analisi del traffico ferroviario;
- il sistema informativo territoriale;
- la modalità di presentazione dei risultati;
- le conclusioni.

2. L'analisi della normativa di legge

Nel seguito vengono riportati i punti salienti del Decreto Legislativo 19 agosto 2005 n. 194 “*Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale*”, norma successivamente aggiornata con il Decreto Legislativo 17 febbraio 2017, n. 42, con particolare evidenza a quanto di competenza del gestore dell'infrastruttura nei confronti degli enti interessati (Ministero della Transizione Ecologica, Regioni, Province Autonome).

Le società e gli enti gestori di servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture hanno elaborato e trasmesso, entro il 30 giugno 2007, alla regione o alla provincia autonoma competente e, nel caso di infrastrutture che interessano più regioni, anche al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (oggi MiTE), la mappatura acustica, nonché i dati di cui all'allegato 6 del citato decreto, riferiti al precedente anno solare, degli assi ferroviari principali su cui transitano più di 60.000 convogli all'anno.

Per tali assi sono poi stati elaborati e trasmessi entro il 18 luglio 2008, i piani di azione. Tali piani hanno recepito e aggiornato i piani di contenimento ed abbattimento del rumore prodotto per lo svolgimento dei servizi pubblici di trasporto, adottati ai sensi dell'articolo 3, comma 1, lettera i) della legge 26 ottobre 1995 n. 447.

Nel caso di infrastrutture principali ricadenti negli agglomerati (aree urbane costituite da uno o più centri abitati contigui fra loro, ai sensi dell'articolo 3 del decreto legislativo 30 aprile 1992 n. 285) con più di 250.000 abitanti, la mappatura acustica e i piani di azione sono stati trasmessi alle regioni, rispettivamente entro il 31 dicembre 2006 ed entro il 18 gennaio 2008.

Analoghe scadenze sono state previste per gli assi principali su cui transitano più di 30.000 convogli all'anno, per i quali sono stati elaborati e trasmessi la mappatura acustica e i piani di azione, rispettivamente entro il 30 giugno 2012 ed entro il 18 luglio 2013. Per gli assi compresi negli agglomerati con più di 100.000 abitanti, tali elaborati sono stati inviati rispettivamente entro il 31 dicembre 2011 ed entro il 18 gennaio 2013. L'ultimo aggiornamento della mappatura acustica all'interno degli agglomerati è stato elaborato e trasmesso nel 2016.

La mappatura acustica e i piani di azione, che vengono riesaminati e, se necessario, rielaborati ogni cinque anni, sono trasmessi dal Ministero della

Transizione Ecologica alla Commissione Europea. In particolare vengono trasmessi dati relativi alla caratterizzazione degli agglomerati e delle infrastrutture principali di trasporto attraverso informazioni geomorfologiche e indicatori statistici di popolazione, superfici e abitazioni esposte al rumore, oltre che informazioni sui metodi di calcolo adottati dagli enti gestori.

Ai fini della elaborazione della mappatura acustica e dei piani di azione devono essere utilizzati i descrittori acustici L_{den} e L_{night} .

Il livello (giorno-sera-notte) L_{den} , in decibel (dB), è definito dalla seguente formula:

$$L_{den} = 10 * \log \left[\frac{1}{24} \left(14 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 2 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right) \right]$$

dove:

- a) L_{den} è il livello continuo equivalente a lungo termine ponderato «A», determinato sull'insieme dei periodi giornalieri di un anno solare;
- b) L_{day} è il livello continuo equivalente a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi diurni di un anno solare;
- c) $L_{evening}$ è il livello continuo equivalente a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi serali di un anno solare;
- d) L_{night} è il livello continuo equivalente a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi notturni di un anno solare.

Per tener conto delle condizioni sociologiche, climatiche ed economiche presenti sul territorio nazionale, i periodi vengono fissati in:

- 1) periodo diurno: dalle 06.00 alle 20.00;
- 2) periodo serale: dalle 20.00 alle 22.00;
- 3) periodo notturno: dalle 22.00 alle 06.00.

3. La metodologia dello studio

L'obiettivo del presente lavoro, analogamente a quanto già effettuato nel precedente aggiornamento del 2016, è quello di individuare, all'interno del territorio degli agglomerati con più di 100.000 abitanti, le tratte su cui transitano più di 30.000 convogli all'anno e di elaborarne la mappatura acustica, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 194/05, mediante una procedura di stima dei livelli sonori.

L'obiettivo è stato conseguito mediante l'applicazione di un modello di simulazione alimentato con le banche dati relative alla emissione acustica delle diverse tipologie di treni, all'entità e composizione del traffico circolante e alla caratterizzazione del territorio circostante l'infrastruttura ferroviaria.

La metodologia utilizzata è analoga a quella implementata per il piano di risanamento acustico ai sensi del Decreto del Ministero dell'Ambiente del 29/11/2000, apportando le necessarie modifiche per tener conto dei nuovi criteri introdotti dal D.Lgs. 194/05.

Elemento di novità è l'adozione del metodo di calcolo CNOSSOS riportato nella Direttiva (UE) 2015/996 della Commissione del 19 maggio 2015 che stabilisce metodi comuni per la determinazione del rumore a norma della direttiva 2002/49/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, il cui recepimento, a partire da dicembre 2018, è sancito nell'art. 7 del Decreto Legislativo 17 febbraio 2017, n. 42. Tale adeguamento ha reso necessario - come illustrato più avanti - l'impiego di un nuovo motore di calcolo acustico.

Le principali attività condotte hanno riguardato:

- l'aggiornamento dei dati di traffico circolato;
- l'individuazione delle tratte ferroviarie comprese negli agglomerati con più di 100.000 abitanti;
- l'aggiornamento del sistema informativo territoriale.

Nel seguito verranno illustrate con maggiore dettaglio le principali attività svolte.

3.1 Modello di simulazione acustica "RFI-INAC"

Il modello di simulazione adottato è quello sviluppato per la redazione della mappatura acustica e del piano di risanamento ai sensi del DM Ambiente del 29/11/2000.

Rispetto a tale modello sono state sviluppate ulteriori funzionalità relative principalmente ai parametri utilizzati per descrivere il clima acustico, alla base temporale su cui tali descrittori vengono valutati, ai punti di calcolo da considerare e alla determinazione dei parametri descrittivi del territorio e della popolazione esposti al rumore.

I livelli acustici sono espressi mediante i parametri L_{den} e L_{night} introdotti nell'articolo 5 del D.Lgs. 194/05 e descritti nel precedente paragrafo 2.

I livelli continui equivalenti a lungo termine ponderati "A" sono stati determinati secondo la ISO 1996-2: 1987, sull'insieme dei periodi temporali dell'anno solare 2020.

I punti di calcolo sono stati posizionati a 4 metri sul piano di campagna, sui vertici di un reticolo a maglia quadrata di larghezza pari a 10 metri. L'analisi è stata condotta per la fascia di territorio circostante l'infrastruttura ferroviaria, delimitata dalle curve isofoniche relative ai valori di L_{den} pari a 55 dB(A) e di L_{night} pari a 45 dB(A). Su tutti i ricettori presenti all'interno di tale fascia sono stati posizionati altri punti di calcolo, a 4 metri dal piano di campagna e alla distanza di 1 metro dalla loro facciata più esposta.

Per la determinazione dei parametri descrittivi del territorio e della popolazione esposti al rumore sono state seguite le indicazioni dell'allegato 6 del D.Lgs. 194/05.

In particolare, il calcolo del numero di persone che occupano edifici abitativi esposti al rumore è stato effettuato moltiplicando l'area complessiva abitabile di ogni edificio abitativo considerato (pari al prodotto tra la superficie in pianta del fabbricato ed il numero di piani) per il rapporto tra i due indici statistici del censimento ISTAT 2011 relativi al numero dei residenti e alla superficie totale delle abitazioni, intese come appartamenti, occupate da residenti, riferiti alla sezione di censimento di appartenenza del fabbricato.

Inoltre, come per il 2011, è stato confermato il calcolo del numero di abitazioni esposte al rumore; moltiplicando l'area complessiva abitabile di

ogni edificio abitativo considerato per il rapporto tra i due indici statistici relativi al numero di abitazioni e alla superficie totale delle abitazioni occupate da residenti, riferiti alla sezione di censimento di appartenenza del fabbricato.

I dati relativi alla popolazione esposta al rumore di ciascun agglomerato sono stati calcolati con gli indici statistici del censimento ISTAT 2011, che rappresenta il dato più aggiornato su scala nazionale.

3.1.1 Descrizione del modello “RFI-INAC”

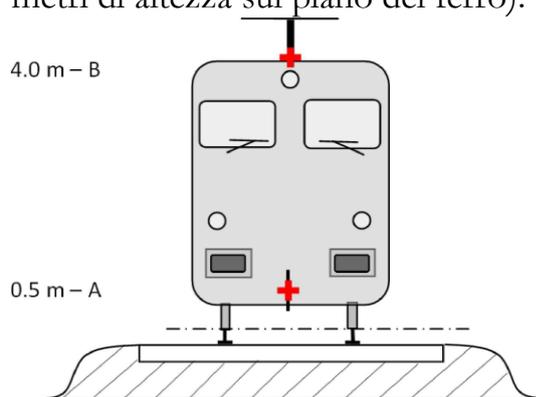
3.1.1.1 Caratteristiche generali

Il modello “RFI-INAC” è un modello di calcolo del livello continuo equivalente di pressione sonora relativamente al rumore causato da traffico ferroviario.

A partire da questa fase di mappatura, il modello di calcolo è stato aggiornato utilizzando un motore di calcolo acustico che implementa il metodo di calcolo CNOSSOS (descritto nell'allegato alla Direttiva (UE) 2015/996); in particolare, per le elaborazioni acustiche è stato utilizzato il software commerciale SoundPLAN versione 8.2, che risulta conforme ai metodi descritti nel citato allegato.

Le caratteristiche principali del modello sono le seguenti:

- la sorgente è schematizzata da due sorgenti lineari (poste a +0,5 e a +4 metri di altezza sul piano del ferro):



- l'emissione delle linee è calcolata sulla base di una banca dati ricavata da misure sperimentali. L'emissione risulta funzione:
 - della categoria del treno,
 - della velocità media per categoria,
 - del numero di treni per categoria,
- l'emissione viene maggiorata in base alla presenza di ponti in ferro o zone con deviatori;
- per il fenomeno della propagazione la sorgente lineare viene suddivisa in segmenti (trattate come sorgenti puntiformi) di lunghezza non superiore a 10 m;
- la propagazione dalla sorgente al ricettore è descritta tramite il modello ISO 9613 e tiene perciò conto di:
 - attenuazione per divergenza geometrica,
 - assorbimento atmosferico,
 - effetto del terreno,

- effetto della presenza di mascheramenti (diffrazione),
- effetto di riflessioni multiple.

3.1.1.2 Modello di emissione

Categorie dei treni

Sulla base dell'analisi dei dati acustici in possesso di RFI è possibile raggruppare le tipologie commerciali di treni in classi di treni omogenei per emissione sonora.

Nella tabella 1 sono riportati, per ognuna delle classi di treni omogenei per emissione acustica utilizzate nella presente analisi, i livelli di potenza sonora normalizzati alla velocità di riferimento di 100 km/.

Categoria acustica	L'w 0,5m	L'w 4m
REG-MET	62,1	46,5
REG	67,2	40,5
MERCI	77,7	43,5
IC	70,2	40,5
ETR500	65,6	43,5
ETR4x0	64,2	40
E-EN	72,2	43,5
DIR-IR	69,7	40,5

Ai fini del metodo di calcolo del rumore CNOSSOS, un veicolo è inteso come ogni singola sottounità ferroviaria di un treno (in genere una locomotiva, una carrozza semovente, una carrozza rimorchiata o un carro merci) che può essere spostata in modo indipendente e separata dal resto del treno. In alcune circostanze specifiche è possibile che le sottounità di un treno facciano parte di un insieme non separabile, ad esempio quando condividono un carrello ferroviario. Un treno è pertanto costituito da una serie di veicoli agganciati.

Calcolo dell'emissione

Il modello utilizzato per il rumore del traffico ferroviario descrive l'emissione di potenza sonora del rumore prodotto da una specifica combinazione di tipo

di veicolo e tipo di binario che soddisfa una serie di requisiti descritti nella classificazione dei veicoli e dei binari, in funzione delle potenze sonore per ciascun veicolo.

La potenza sonora direzionale per metro e per banda di frequenza, dovuta a tutti i veicoli che transitano in ciascun tratto di binario è definita:

- per ogni banda di frequenza
- per ciascuna altezza di sorgente considerata

ed è la somma dell'energia di tutti gli apporti di tutti i veicoli che transitano sul tratto di binario considerato. Tali apporti:

- provengono da tutti i tipi di veicoli
- sono calcolati in considerazione delle loro diverse velocità
- sono considerati tenendo conto delle particolari condizioni di circolazione (velocità costante)
- riguardano ciascun tipo di sorgente fisica (sorgenti di rumore di rotolamento, d'impatto, da stridio, di trazione, aerodinamico e sorgenti di ulteriori effetti, ad esempio il rumore causato dai ponti).

Per calcolare la potenza sonora direzionale per metro (apporto alla parte di propagazione) dovuta alla combinazione media di traffico sul tratto di binario j-esimo, si utilizza la seguente formula:

$$L_{W',eq,T,dir,i} = 10 \cdot \lg \left(\sum_{x=1}^X 10^{L_{w',eq,line,x}/10} \right)$$

Per i dettagli, si rimanda direttamente all'Allegato della Direttiva EU 2015/996.

Emissione di punti singolari

Nella mappatura il modello tiene conto di eventuali punti singolari sulla tratta che possono aumentare l'emissione, quali ad esempio ponti in ferro e deviatoi: in tal caso, poiché non è semplice modellizzare l'emissione del ponte come sorgente aggiuntiva, a causa delle forme complesse dei ponti, si ricorre a un aumento del rumore di rotolamento per tenere conto del rumore provocato dal ponte (par. 2.3.3. dell'allegata alla Direttiva EU 996/2015).

Modello di sorgente

Le differenti sorgenti di rumore lineari equivalenti sono poste a diverse altezze e al centro del binario. Tutte le altezze si riferiscono al piano tangente alle due superfici superiori delle due rotaie.

Ai fini del calcolo di propagazione la sorgente lineare è suddivisa in segmenti di lunghezza non superiore a 10 m. Ciascun segmento è trattato come una sorgente puntiforme su cui è concentrata l'emissione dell'intero segmento.

3.1.1.3 Modello di propagazione

Il livello sonoro equivalente è calcolato secondo quanto indicato nel paragrafo 2.5 dell'allegato alla Direttiva UE 2015/996.

$$L_{Aeq} = 10 \text{Log} \left(\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^J 10^{\Delta L_{eq,i,j}/10} \right)$$

dove $\Delta L_{eq,i,j,n}$ specifica il contributo in banda di ottava (indice i) di ciascun segmento in cui risulta suddivisa la linea (indice j).

Il termine $\Delta L_{eq,i,j}$ è calcolato come segue:

$$\Delta L_{eq,i,j} = L_{W,i} + 10 \text{Log}(\Delta l) + D_{c,i,j} - A_{div,j} - A_{atm,i,j} - A_{gr,i,j} - A_{bar,i,j} + A_{rfl,i,j}$$

dove i termini della somma hanno il seguente significato:

$L_{W,i}$ valore di emissione per metro di linea in banda di ottava,

Δl lunghezza del segmento (m),

$D_{c,i,j}$ direttività della sorgente in banda di ottava,

$A_{div,j}$ attenuazione per divergenza geometrica,

$A_{atm,i,j}$ attenuazione per assorbimento atmosferico,

$A_{gr,i,j}$ attenuazione per effetto ground,

$A_{bar,i,j}$ attenuazione per mascheramento geometrico,

$A_{rfl,i,j}$ effetto delle riflessioni multiple.

Direttività della sorgente

La direttività orizzontale $\Delta L_{W,dir,hor,i}$, espressa in dB, è data sul piano orizzontale e può essere considerata per impostazione predefinita un dipolo per il rotolamento, l'impatto (giunti di rotaia, ecc.), lo stridio, la frenata, le ventole e gli effetti aerodinamici, calcolato per ogni banda di frequenza i -esima con la seguente formula:

$$\Delta L_{W,dir,hor,i} = 10 \times \lg(0,01 + 0,99 \cdot \sin^2\varphi)$$

La direttività verticale $\Delta L_{W,dir,ver,i}$, espressa in dB, è data sul piano verticale, per la sorgente A ($h = 1$), come funzione della frequenza di centro banda $f_{c,i}$ di ogni banda di frequenza i -esima ed è calcolata per $-\pi/2 < \psi < \pi/2$ con la seguente formula:

$$\Delta L_{W,dir,ver,i} = \left(\left| \frac{40}{3} \times \left[\frac{2}{3} \times \sin(2 \cdot \psi) - \sin \psi \right] \times \lg \left[\frac{f_{c,i} + 600}{200} \right] \right| \right)$$

Per la sorgente B ($h = 2$) per l'effetto aerodinamico:

$$\Delta L_{W,dir,ver,i} = 10 \times \lg(\cos^2 \psi) \quad \text{Per } \psi < 0$$

$\Delta L_{W,dir,ver,i} = 0$ per qualsiasi altro punto.

La direttività $\Delta L_{dir,ver,i}$ non è considerata per la sorgente B ($h = 2$) per gli altri effetti, in quanto per queste sorgenti in questa posizione è ipotizzata l'omnidirezionalità.

Attenuazione per divergenza geometrica

In accordo con il codice ISO 9613, l'attenuazione per divergenza geometrica viene calcolata mediante la seguente espressione:

$$A_{div,j} = 20 \text{Log}(r_j) + 11$$

Dove r_j è la distanza tra la j -esima sorgente ed il ricevitore.

Attenuazione atmosferica

L'attenuazione atmosferica è calcolata in funzione della temperatura dell'aria e della umidità relativa per ogni banda di ottava.

L'attenuazione dovuta all'assorbimento atmosferico A_{atm} , espressa in dB, durante la propagazione su una distanza d è data dalla seguente equazione:

$$A_{atm} = \alpha_{atm} \cdot d / 1000$$

dove d è la distanza inclinata diretta in 3D, espressa in metri (m), tra la sorgente e il ricevitore. α_{atm} è il coefficiente di attenuazione atmosferica, in dB/km, alla frequenza centrale nominale per ciascuna banda di frequenza, conformemente alla norma ISO 9613-1.

Attenuazione per effetto suolo

L'attenuazione dovuta all'effetto suolo è principalmente il risultato dell'interferenza tra il suono riflesso e il suono propagato direttamente dalla sorgente al ricettore. Essa è collegata direttamente all'assorbimento acustico del suolo al di sopra del quale si propaga l'onda sonora. Tuttavia, dipende anche in larga misura dalle condizioni atmosferiche presenti durante la propagazione, poiché la curvatura dei raggi modifica l'altezza del percorso al di sopra del suolo, rendendo più o meno significativi l'effetto suolo e la zona situata in prossimità della sorgente. Se la propagazione tra la sorgente e il ricettore è influenzata dalla presenza di ostacoli nel piano di propagazione, l'effetto suolo va calcolato separatamente per la sorgente e il ricettore. In questo caso, z_s e z_r fanno riferimento alla posizione della sorgente equivalente e/o del ricettore, come indicato più avanti nella descrizione del calcolo della diffrazione A_{dif} .

Le proprietà di assorbimento acustico del suolo sono legate soprattutto alla sua porosità. Un suolo compatto è generalmente riflettente, mentre un suolo poroso è assorbente. Per esigenze operative di calcolo, l'assorbimento acustico di un suolo è rappresentato da un coefficiente adimensionale G , compreso tra 0 e 1. G è indipendente dalla frequenza. Nella tabella seguente sono riportati i valori di G per il suolo in ambiente esterno. In generale, la media del coefficiente G su un percorso varia da 0 a 1.

Descrizione	Tipo	(kPa·s/m ²)	Valore G
Molto soffice (come la neve o la schiuma)	A	12,5	1
Suolo forestale soffice (come un tappeto fitto e basso di erica o uno spesso tappeto di muschio)	B	31,5	1
Suolo instabile, non compatto (terreno erboso e instabile)	C	80	1
Suolo normale non compatto (suolo forestale, terreni da pascolo)	D	200	1
Campi e strade sterrate compatti (prato rasato compatto, aree di parco)	E	500	0,7
Suolo denso compatto (strada ghiaiosa, parcheggio per automobili)	F	2 000	0,3
Superfici dure (la maggior parte delle superfici asfaltate e cementificate)	G	20 000	0
Superfici molto dure e dense (asfalto denso, calcestruzzo, acqua)	H	200 000	0

Attenuazione per mascheramento

L'attenuazione per mascheramento è causata dall'interposizione di un ostacolo (edificio, barriera, etc.) sulla linea ideale che congiunge sorgente e ricevitore (linea di vista).

Per produrre l'attenuazione, le dimensioni dell'oggetto schermante, proiettate ortogonalmente alla retta congiungente sorgente e ricevitore, devono essere maggiori della lunghezza d'onda per la banda di ottava considerata.

Come regola generale, è necessario studiare la diffrazione nella parte superiore di ogni ostacolo situato sul percorso di propagazione. Se il percorso passa «sufficientemente in alto» al di sopra dello spigolo di diffrazione, è possibile porre $A_{dif} = 0$.

In pratica, per ogni frequenza centrale della banda di frequenza, la differenza di percorso, δ , va comparata con la quantità $-\lambda/20$. Se un ostacolo non produce diffrazione, dopo averlo determinato ad esempio in base al criterio di Rayleigh, non è necessario calcolare A_{dif} per la banda di frequenza in questione.

Se, per una determinata banda di frequenza, viene effettuato un calcolo secondo il procedimento di cui alla presente sezione, si pone A_{ground} pari a 0 dB

nel calcolo dell'attenuazione totale. L'effetto suolo è preso in considerazione direttamente nell'equazione generale per il calcolo della diffrazione.

Per calcolare l'attenuazione dovuta a diffrazione, tenendo conto degli effetti del suolo sul lato sorgente e sul lato ricettore, vengono utilizzate le seguenti formule:

$$A_{dif} = \Delta_{dif(S,R)} + \Delta_{ground(S,O)} + \Delta_{ground(O_n,R)}$$

Dove

— $\Delta_{dif(S,R)}$ è l'attenuazione dovuta alla diffrazione tra la sorgente S e il ricettore R;

— $\Delta_{ground(S,O)}$ è l'attenuazione dovuta all'effetto del suolo lato sorgente, ponderata dalla diffrazione lato sorgente;

— $\Delta_{ground(O,R)}$ è l'attenuazione dovuta all'effetto del suolo lato ricettore, ponderata dalla diffrazione lato ricettore.

Contributo delle riflessioni

Il contributo delle riflessioni viene calcolato utilizzando la tecnica della sorgente immagine.

Per gli edifici è assunto un coefficiente di riflessione pari a 0.8.

Sono considerate riflessioni multiple su un propagation path fino ad un massimo di 3.

Per il calcolo del livello di rumore su un edificio ricettore non si considerano le riflessioni che si hanno sulla facciata dell'edificio stesso.

4. L'analisi del traffico ferroviario

Nel modello di simulazione adottato la sorgente ferroviaria viene caratterizzata mediante la potenza acustica per metro lineare d'infrastruttura emessa dal traffico che complessivamente la interessa in ciascuno dei periodi di riferimento diurno, serale e notturno. In particolare, tale potenza acustica dipende:

- dalle potenze emesse dalle diverse tipologie di treni omogenei per emissione sonora, alla velocità di riferimento di 100 km/h (tipologie riportate nel paragrafo 4.1.2),
- dal numero di treni che circolano sul tratto di infrastruttura indagato per ognuna delle diverse tipologie,
- dalla velocità effettiva dei treni nel tratto indagato.

L'analisi del percorso di ogni treno, descritto mediante l'indicazione delle località attraversate, degli orari di ingresso e di uscita da ognuna di esse e dei chilometri percorsi tra due località successive, ha consentito di individuare, sull'intera rete in esercizio, oltre 3000 tratti di infrastruttura (di lunghezza media pari a circa 5 km) omogenei per condizioni di traffico, in termini di entità e composizione. Con i dati a disposizione è possibile associare ad ognuno di questi tratti, che costituiscono gli assi di cui al D.Lgs.194/05, il numero di treni che lo percorrono nei tre periodi di riferimento diurno, serale e notturno, distinguendoli nelle diverse tipologie di treni omogenei per emissione sonora.

Dall'analisi dei dati di traffico giornaliero circolato, dedotti dal Sistema PIC – Piattaforma Integrata Circolazione - è stato possibile individuare le tratte con più di 30.000 convogli all'anno e le altre tratte comprese negli agglomerati con più di 100.000 abitanti ed estrarre per ciascuna di esse i dati di entità e composizione del traffico per ogni giorno dell'anno solare 2020.

I dati a disposizione hanno altresì consentito di attribuire ad ognuna delle tipologie di treni la velocità media di percorrenza del tratto analizzato, valutata come media dei rapporti tra lo spazio percorso e il tempo impiegato da ogni singolo treno. Questo dato, pur essendo quello di maggior dettaglio gestibile a livello informatico sul complesso dell'intera rete ferroviaria, può introdurre un'approssimazione nella stima dei livelli sonori immessi, per la considerevole variabilità puntuale della velocità di

percorrenza della linea, dovuta alle caratteristiche dell'infrastruttura, dei treni e soprattutto dei programmi di esercizio (fermate, rallentamenti, etc.).

Nell'ambito degli agglomerati con più di 100.000 abitanti comunicati dal Ministero della Transizione Ecologica si è riscontrata la presenza di circa 680 assi ferroviari, per un totale di circa 2600 km di infrastruttura, di cui si fornisce l'elenco completo nel foglio di lavoro "Noise_Directive_DF1_5".

5. Il sistema informativo territoriale

RFI ha da tempo realizzato per le esigenze di progettazione e manutenzione delle proprie infrastrutture una cartografia in scala 1:5000 del territorio attraversato. Questa cartografia, realizzata sulla base di riprese aerofotogrammetriche degli anni '80, è stata aggiornata in occasione della redazione della mappatura acustica e del piano di risanamento ai sensi del DM Ambiente del 29/11/2000.

Nel 2006, in occasione della mappatura degli assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli all'anno e degli agglomerati con più di 250.000 abitanti è stato effettuato un aggiornamento importando nel GIS di RFI un nuovo modello digitale del terreno (Digital Terrain Model) avente un passo di campionamento di 10 metri su un corridoio di 500 metri a cavallo dell'infrastruttura e sono state aggiornate le sezioni di censimento sulla base dei dati ISTAT raccolti nel 2001.

Nel 2011, in occasione della mappatura degli assi ferroviari con più di 30.000 convogli all'anno e degli agglomerati con più di 100.000 abitanti, è stato effettuato un ulteriore aggiornamento con un modello digitale del terreno avente un passo di campionamento di 5 metri ed inoltre è stato effettuato un censimento delle opere di mitigazione acustica installate a margine dell'infrastruttura ferroviaria.

Per la mappatura del 2016, per tre nuove tratte nell'agglomerato di Modena, è stato utilizzato un DTM avente un passo di campionamento di 10 metri proveniente dalla seguente fonte cartografica: “*Tarquini S., I. Isola, M. Favalli, F. Mazzarini, M. Bisson, M.T. Pareschi, E. Boschi (2007). TINITALY/01: a new Triangular Irregular Network of Italy, Annals of Geophysics, 50, 407-425*”.

Ulteriori aggiornamenti puntuali sono stati apportati nel corso delle normali procedure di manutenzione del Piano di Risanamento Acustico nazionale, che vengono eseguite all'occorrenza.

6. La modalità di presentazione dei risultati

I risultati dello studio eseguito da RFI per la redazione della mappatura acustica di cui all'articolo 3 del D.Lgs.194/05, sono riportati nei seguenti documenti:

- *Mappe Georeferenziate*, in formato shape file, con gli assi ferroviari inclusi negli agglomerati, con le curve isofoniche relative a valori di L_{den} pari a 55 dB(A), 60 dB(A), 65 dB(A), 70 dB(A), 75 dB(A) e a valori di L_{night} pari a 50 dB(A), 55 dB(A), 60 dB(A), 65 dB(A), 70 dB(A) alla quota di 4 metri sul piano di campagna e con i confini degli agglomerati presi a riferimento;
- *Noise Directive Data Flows* contenenti i dati richiesti per le infrastrutture ferroviarie nel formato proposto dall'Eionet Data Dictionary (DD) redatto dall'European Environment Agency (EEA) e pubblicato sul sito internet <http://dd.eionet.europa.eu/datasets/>.
- *Metadati* relativi a ciascun documento allegato.
- *Dati di traffico* circolato giornaliero medio, relativo all'anno 2020, per ciascun asse ferroviario incluso all'interno degli agglomerati.

6.1 Mappe e livelli acustici georeferenziati

Le mappe acustiche georeferenziate, in formato shape file, rappresentano le geometrie, in coordinate piane UTM/WGS84 fuso 32, degli assi ferroviari inclusi negli agglomerati, delle curve isofoniche L_{den} riferite ai valori di 55 dB(A), 60 dB(A), 65 dB(A), 70 dB(A) e 75 dB(A) e a valori di L_{night} pari a 50 dB(A), 55 dB(A), 60 dB(A), 65 dB(A), 70 dB(A) alla quota di 4 metri sul piano di campagna, e dei confini degli agglomerati.

Nei file di estensione “dbf”, associati agli shape file, sono contenuti gli attributi alfanumerici degli oggetti rappresentati nelle mappe acustiche georeferenziate.

Per gli agglomerati sono riportati i seguenti attributi:

- codice numerico adottato per l'agglomerato,
- nome dell'agglomerato,
- codice della regione di appartenenza dell'agglomerato.

Per gli assi ferroviari sono riportati i seguenti attributi:

- Codice Reporting Entity

- Identificativo univoco dell'infrastruttura ferroviaria (Unique Rail ID)
- Nome del gestore
- Lunghezza in metri dell'asse ferroviario
- Numero di treni/anno

Per le curve isofoniche L_{den} e L_{night} , sono riportati i seguenti attributi:

- codice dello Stato Membro
- Codice Reporting Entity
- UNIQUE RAIL ID,
- livelli associati alle curve isofoniche.

6.2 Noise Directive Data Flows (Eionet)

I dati richiesti dal formato di trasmissione proposto dall'Eionet Data Dictionary (messi a punto dall' European Environment Agency (EEA) e pubblicato, sul sito internet <http://dd.eionet.europa.eu/datasets.jsp/>) sono presentati attraverso i seguenti "Data Flow":

- "DF1_5_MRail" contenente la descrizione generale dei singoli assi ferroviari inclusi negli agglomerati;
- "DF2_MRail" contenente l'indicazione dell'autorità competente per la mappatura di ciascun asse ferroviario elencato nel "DF1_5_MRail" con l'indirizzo del gestore d'infrastruttura ed i dati delle persone di riferimento;
- "DF4_8_MRail" contenente i dati acustici di esposizione della popolazione al rumore ferroviario, ai sensi dei commi 1.5, 1.6 e 1.7 dell'Allegato 6 del D.Lgs.194/05, aggregati al livello dei singoli agglomerati.

6.3 Metadati

Sono forniti in file Excel i metadati relativi alle informazioni geografiche fornite.

6.4 Dati di traffico

Sono forniti, in file Excel, i dati di traffico relativi agli assi ferroviari inclusi all'interno di ciascun agglomerato. In particolare per ciascun binario relativo all'asse ferroviario e per ciascuna tipologia di treno (Merci, Regionali, Inter City, ETR 500, ecc.) viene fornito:

- il numero medio giornaliero di convogli circolati nel 2020 in ciascuno dei periodi di riferimento temporali (Day, Evening e Night);
- la velocità media sulla tratta.

7. Le conclusioni

La mappatura acustica ai sensi del D.Lgs. n.194 del 19 agosto 2005 è stata effettuata mediante l'uso del modello di simulazione "RFI-INAC", implementato, sulla base del codice di calcolo proposto nella ISO 9613-2, per la redazione del piano di risanamento acustico ai sensi del DM Ambiente del 29/11/2000.

Tale modello è stato tarato e verificato mediante i risultati di una corposa campagna di indagine strumentale dei livelli acustici effettuata tra il 2001 ed il 2002, attraverso la quale si è evidenziato che i risultati forniti dalla simulazione sono caratterizzati da un grado di approssimazione pienamente soddisfacente e comunque sempre cautelativi.

In occasione della redazione delle mappature e dei piani d'azione svolti in precedenza, nonché del presente lavoro, il modello di simulazione "RFI-INAC" è stato alimentato con i dati cartografici e di traffico di volta in volta aggiornati e disponibili sui sistemi informativi integrati di RFI. Sono stati predisposti pre e post-processor al modello per la valutazione dei dati richiesti nell'allegato 6 del D.Lgs.194 del 19 agosto 2005.

Inoltre, per la presente mappatura, ai fini dell'implementazione del metodo di calcolo CNOSSOS, previsto nell'art. 7 del Decreto Legislativo 17 febbraio 2017, n. 42, il modello di simulazione "RFI-INAC" è stato aggiornato utilizzando quale motore di calcolo acustico il software previsionale SoundPLAN versione 8.2.

La mappatura acustica è stata effettuata per uno sviluppo complessivo di circa 2600 km di infrastruttura ferroviaria, corrispondente alle circa 680 tratte incluse negli agglomerati con più di 100.000 abitanti comunicati dal Ministero della Transizione Ecologica.

Roma, 31 gennaio 2022

Redatto da: Ing. Simone Relandini, Ing. Dario Bianchi



Verificato da:

Ing. Cinzia Giangrande
(Responsabile della S.O. Ambiente)



Ing. Franco Iacobini
(Responsabile della S.O. Standard Infrastruttura)