

# Mappatura acustica degli assi ferroviari principali con più di 30.000 convogli all'anno ai sensi del D.Lgs.194/05

## Relazione tecnica

Roma, 22 Giugno 2012

## 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	9
3.1.1.3 Modello di propagazione	11
4. L'analisi del traffico ferroviario	16
5. Il sistema informativo territoriale	18
6. La modalità di presentazione dei risultati	19
6.1 Mappe georeferenziate	20
6.2 END Reporting Mechanism Data Template	20
6.3 Noise Directive Data Flows (Eionet)	21
6.4 Metadati	22
7. Le conclusioni	23
ALLEGATO A. "Analisi comparata tra la metodologia di calcolo adottata da RFI e le raccomandazioni della Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure (GPG), pubblicata dal WG-AEN il 13 agosto 2007"	25

## 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, esterni agli agglomerati con più di 100.000 abitanti, notificati dalle Regioni al Ministero dell'Ambiente del Territorio e della Tutela del Mare e da quest'ultimo indicati con le comunicazioni del 10/02/2011, del 28/09/2011 e del 25/11/2011.

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 3, lett.b).

Si evidenzia che il lavoro svolto comprende anche gli assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli all'anno e, pertanto, la precedente mappatura acustica, redatta in base all'art. 3 comma 1, lett.b del D.Lgs.194/05 e trasmessa con la nota RFI-DIN-ICI\A0011\P\2007\0000579 del 21.06.2007, 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.

Come richiesto dal "Reporting Mechanism proposed for reporting under the Environmental Noise Directive 2002/49/EC - Handbook (including Data Specifications)", pubblicato sul sito della Commissione Europea nel mese di ottobre del 2007, nell'allegato A alla presente Relazione Tecnica, è riportata un'analisi comparata tra la metodologia di calcolo adottata e le relative raccomandazioni proposte dalla Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, nella versione 2 pubblicata dal WG-AEN il 13 agosto 2007.

## 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”, con particolare evidenza a quanto di competenza del gestore dell'infrastruttura nei confronti degli enti interessati (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Regioni, Province Autonome).

Le società e gli enti gestori di servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture elaborano e trasmettono, 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, 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 devono poi essere elaborati e trasmessi entro il 18 luglio 2008, i piani di azione. Tali piani recepiscono e aggiornano 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 devono essere trasmessi alle regioni, rispettivamente entro il 31 dicembre 2006 ed entro il 18 gennaio 2008.

Analoghe scadenze sono previste per gli assi principali su cui transitano più di 30.000 convogli all'anno, per i quali devono essere 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 devono essere inviati rispettivamente entro il 31 dicembre 2011 ed entro il 18 gennaio 2013.

La mappatura acustica e i piani di azione, che vengono riesaminati e, se necessario, rielaborati ogni cinque anni, sono trasmessi dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare alla Commissione Europea. In particolare saranno 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 è quello di individuare, all'esterno 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, e di quanto previsto dalle linee guida emesse dalla Commissione Europea ad agosto del 2007 (Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure). Tale metodologia è stata adottata anche per la mappatura acustica ed il piano d'azione redatti ai sensi del D.Lgs. 194/05, tra il 2006 ed il 2008.

Le principali attività condotte hanno riguardato:

- l'aggiornamento dei dati di traffico circolato;
- l'individuazione delle tratte ferroviarie con più di 30.000 convogli all'anno esterne agli agglomerati con più di 100.000 abitanti, aggiornate rispetto a quanto comunicato, ai sensi dell'art.7 comma 2 lett. a e b del D.Lgs.194/05, con le note RFI-DTC-INC\A0011\P\2008\0000426 del 28/11/2008 e RFI-DTC-INC\A0011\P\2010\0000335 del 31/05/2010;
- 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. Solo per la rappresentazione del superamento dei valori limite, richiesta al punto 1, lettera d) dell'allegato 4 dello stesso decreto, sono stati utilizzati i descrittori,  $L_{eq}$  diurno e  $L_{eq}$  notturno, determinati ai sensi dell'articolo 3 della legge n. 447 del 26 ottobre 1995.

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 2010.

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 tali ricettori è stata anche effettuata la determinazione della facciata silenziosa ai sensi dell'allegato 6 del D.Lgs. 194/05, effettuando il calcolo dei livelli sonori a 2 metri di distanza da tutte le facciate e a 4 metri sul piano di campagna.

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 ed edifici abitativi dotati di facciata silenziosa 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 2001 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, rispetto a quanto effettuato nel 2006, è stato migliorato il calcolo del numero di abitazioni esposte al rumore; esso è stato effettuato non più identificando le abitazioni con gli “edifici abitativi”, bensì 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.

Nel documento “Mappatura acustica degli assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli all'anno negli agglomerati con più di 250.000 convogli all'anno - Relazione tecnica” del 22 dicembre 2006, è stata presentata l'analisi comparativa del modello “RFI-INAC” con il metodo di calcolo ufficiale dei Paesi Bassi pubblicato in «Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996» e indicato nel punto 2.1, lettera d) dell'allegato 2 del Decreto Legislativo 19 agosto 2005 n. 194.

L'analisi ha dimostrato una sostanziale equivalenza tra i due metodi per quanto riguarda il modello di propagazione del rumore.

In particolare, i confronti effettuati con le misure sperimentali, volti soprattutto a comparare i due metodi nella stima dell'emissione sonora generata dall'insieme di infrastruttura ferroviaria e materiale rotabile italiani, hanno evidenziato:

- un valore medio delle differenze tra valori stimati e valori misurati, praticamente nullo per entrambi i metodi, con una leggera tendenza alla sottostima da parte del modello olandese (SRM II) e alla sovrastima del modello “RFI-INAC”;
- una deviazione standard delle differenze tra valori stimati e valori misurati, praticamente identica per entrambi i metodi (leggermente maggiore di circa 0.5 dB quella del modello olandese).



### 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. E' un modello in banda di ottava in cui il fenomeno della emissione è trattato separatamente da quello della propagazione.

Le caratteristiche principali del modello sono le seguenti:

- la sorgente è schematizzata da una sorgente lineare (posta a 0.8 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 deviatoi;
- 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 round,
  - 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 per metro lineare di infrastruttura normalizzati alla velocità di riferimento di

100 km/h ed espressi in dB(A)/m, sia in termini globali che in spettri di bande d'ottava:

Classi acustiche di treni	Livelli globali	Livelli in bande d'ottava							
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1K Hz	2K Hz	4K Hz	8K Hz
1 Aln 668	62,7	62,7	37,6	47,2	57,3	58,7	55,0	51,5	42,5
2 DIR/IR	66,3	66,3	39,1	51,2	55,5	60,3	62,6	57,1	47,8
3 E/EN	70,1	70,1	49,3	58,3	63,9	64,2	64,4	61,0	52,0
4 ETR 450/460/480	61,5	61,5	32,7	41,4	45,1	49,9	59,2	55,0	44,0
5 ETR 500	62,5	62,5	33,7	44,2	48,6	53,7	60,3	54,3	43,7
6 IC	66,9	66,9	37,6	48,5	52,7	59,4	64,4	58,2	48,1
7 REG	64,4	64,4	39,7	51,0	55,5	58,0	59,9	55,8	47,7
8 REG-MET	60,2	60,2	37,0	46,4	52,3	54,6	54,2	52,0	45,8
9 MERCI	75,6	75,6	50,2	60,3	68,5	70,5	69,6	65,6	56,0
10 D445	69,6	69,6	47,9	58,7	63,6	65,4	62,1	57,7	47,2
11 Ale 724	66,5	66,5	44,5	54,5	58,8	61,6	60,3	57,6	49,4

Tabella 1: Livelli globali e in bande d'ottava della potenza sonora emessa per metro lineare di infrastruttura [ $L_w/m$  in dB(A)/m] da un treno alla velocità di 100 km/h

### Calcolo dell'emissione

Il calcolo dell'emissione viene effettuato mediante la seguente espressione in funzione della banda di ottava, della velocità del treno e della sua categoria:

$$L_{w,i,c} = a_{i,c} + 20\text{Log}(v_c / 100) + 10\text{Log}(N_c)$$

dove:

$L_{w,i,c}$  è l'emissione per unità di lunghezza di linea per banda di ottava e categoria di treno,

$a_{i,c}$  valore di emissione del singolo treno per banda di ottava e per categoria alla velocità di riferimento di 100 km/h,

$v_c$  velocità media per categoria di treno,

$N_c$  numero di treni per categoria nel periodo di riferimento.

### Emissione di punti singolari

Nella mappatura il modello tiene conto di eventuali punti singolari sulla tratta che possono aumentare l'emissione. In particolare si aumenta l'emissione in corrispondenza di ponti in ferro e deviatoi, di valore  $\Delta L_w$  riportato nella Tabella 2.

	62.5 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
Ponte in ferro	11.1	15.5	17.2	13.7	10.5	8.0	7.5	7.7
Deviatoio	5.6	8.4	10.0	7.1	5.1	3.0	2.8	2.6

Tabella 2 – Correzione dell'emissione per presenza di punti singolari (dB per metro di linea)

### Modello di sorgente

La sorgente di rumore lineare è posizionata a 0.8 metri dal piano del ferro per tutte le categorie di treni considerate.

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 la seguente espressione:

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

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:

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

dove i termini della somma hanno il seguente significato:

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

$\Delta l$  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,

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

#### Direttività della sorgente

Il termine di direttività della sorgente segue il modello francese NMBP-FER che utilizza il modello ingegneristico MITHRA-FER sviluppato dal CSTB.

La direttività è costituita da due termini (la direttività orizzontale e quella verticale).

$$D_{c,i,j} = D_{vert,i,j} + D_{hor,j}$$

La direttività orizzontale si calcola con la seguente espressione:

$$D_{hor,j} = 10 \text{Log} \left[ \cos(\vartheta) \cdot \frac{4}{\pi} \right]$$

La direttività verticale si calcola con la seguente espressione:

$$D_{vert,i,j} = \frac{40}{3} \left[ \frac{2}{3} \sin(2\varphi) - \sin(\varphi) \right] \text{Log} \left[ \frac{f + 600}{200} \right]$$

Dove  $\varphi$  e  $\vartheta$  sono gli angoli riportati in Figura 1.

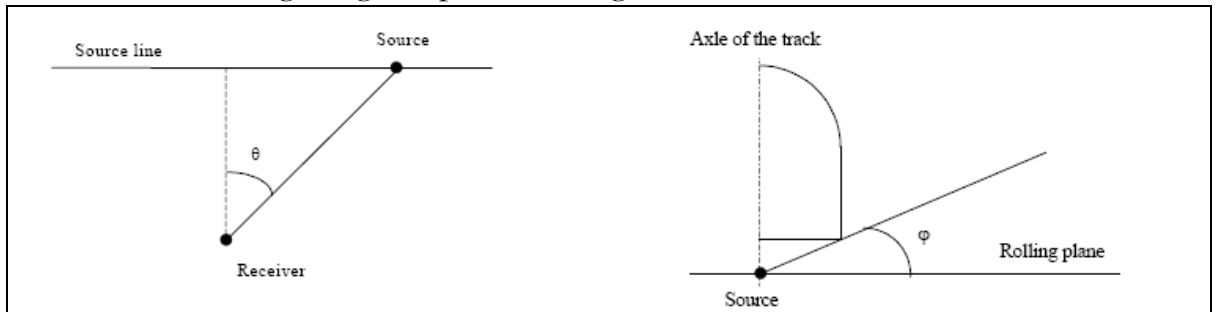


Figura 1 – Angoli della direzione sorgente ricevitore per il calcolo della direttività

### 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 ricettore.

### Attenuazione atmosferica

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

Per la mappatura acustica è stata considerata una temperatura dell'aria pari a 15° centigradi e un'umidità relativa pari al 60%.

Analogamente al modello olandese l'attenuazione atmosferica è proporzionale alla distanza sorgente-ricettore:

$$A_{atm,i,j} = r_j \delta_{air,i}$$

dove:

$r_j$  è la distanza sorgente-ricettore (m);

$\delta_{air,i}$  è il coefficiente di assorbimento atmosferico in banda di ottava, funzione della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria.

### **Attenuazione per effetto ground**

Il calcolo dell'attenuazione per effetto ground si basa sulla suddivisione del propagation path in tre zone:

- una fascia vicino alla sorgente di estensione pari a  $30h_s$ , dove  $h_s$  è l'altezza della sorgente (considerando 0.8 metri l'altezza della sorgente, l'estensione della fascia risulta 24 m),
- una fascia vicino al ricevitore di larghezza  $30h_r$ , dove  $h_r$  è l'altezza del ricevitore,
- una fascia intermedia che sussiste qualora la distanza tra sorgente e ricevitore sia maggiore della somma tra la larghezza delle fasce adiacenti alla sorgente e al ricevitore.

Ciascuna delle tre zone è caratterizzata da un fattore di assorbimento di ground funzione della differente composizione del terreno.

Il terreno è suddiviso in due tipologie:

- acusticamente hard (terreno pavimentato, asfalto, terreno compatto, etc.)
- acusticamente non hard (prato, terreno agricolo, terreno con vegetazione, etc).

Per ciascuna delle tre fasce, il fattore di assorbimento è pari al rapporto tra la larghezza della frazione con terreno acusticamente non hard e la larghezza totale della fascia.

### **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.

Il modello ISO 9613 tratta sia il caso di singola diffrazione, in cui un solo bordo di diffrazione si interpone alla direttrice sorgente-ricevitore (Figura 2), sia il caso di doppia diffrazione, in cui due bordi di diffrazione si interpongono sulla linea (Figura 3).

Qualora sulla linea di vista siano presenti più di due oggetti schermanti l'attenuazione viene calcolata considerando i due ostacoli più significativi.

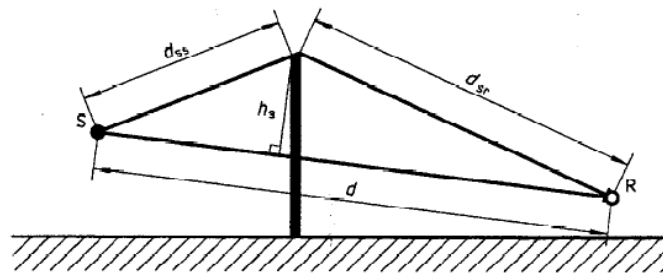


Figura 2 – Geometria della diffrazione singola

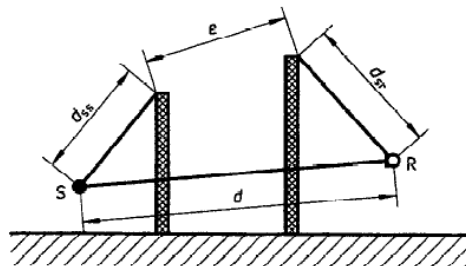
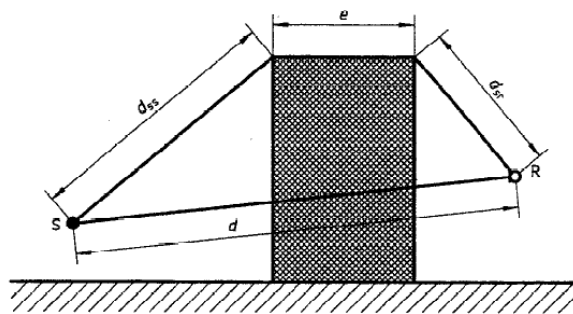


Figura 3 – Geometria della diffrazione doppia

L'attenuazione per mascheramento (screening) è calcolata mediante la seguente formula:

$$A_{Bar} = 10 \cdot \text{Log} \left[ 3 + (C_2 / \lambda) C_3 \cdot z \cdot K_{met} \right]$$

dove:

$$C_2 = 20,$$

$$C_3 = 1$$

per singola diffrazione,

$$C_3 = \left[ 1 + (5\lambda / e)^2 \right] / \left[ \frac{1}{3} \cdot (5\lambda / e)^2 \right]$$

in caso di diffrazione doppia con  $e$  pari alla distanza tra i due edge di diffrazione proiettata lungo la congiungente sorgente-ricettore (Figura 3),

$\lambda$  è la lunghezza d'onda,

$z$  è la differenza tra il cammino diffratto e quello diretto,  
 $K_{met}$  è il fattore di correzione meteorologico.

### ***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 3.1.1.2),
- 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 esterne agli 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 2010.

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.).



All'esterno degli agglomerati con più di 100.000 abitanti indicati dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare si è riscontrata la presenza, al di fuori degli agglomerati, di 570 assi ferroviari principali (dei quali 90 a cavallo del confine di un agglomerato e 17 a cavallo di un confine regionale), per un totale di circa 3.400 km di infrastruttura, di cui si fornisce un quadro di sintesi nella tabella 3 e l'elenco completo nei foglio di lavoro "DF1(and DF5)\_Mrail" dell'END Reporting Mechanism Data Template e "DF1\_5\_Mrail" dei Noise Directive Data Flow di Eionet.

Regione	N° assi con più di 30.000 convogli all'anno all'interno della Regione	N° assi con più di 60.000 convogli all'anno all'interno della Regione	km assi con più di 30.000 convogli all'anno all'interno della Regione	km assi con più di 60.000 convogli all'anno all'interno della Regione
ABRUZZO	8	0	49,643	0
CALABRIA	11	0	62,686	0
CAMPANIA	31	1	160,985	3,635
EMILIA ROMAGNA	44	11	317,813	90,796
FRIULI – V. G.	12	0	82,163	0
LAZIO	49	7	399,976	59,1
LIGURIA	43	0	146,934	0
LOMBARDIA	104	17	468,299	86,955
MARCHE	20	0	152,94	0
PIEMONTE	64	3	334,914	1,273
PUGLIA	15	0	130,462	0
SARDEGNA	2	0	8,838	0
SICILIA	3	0	16,095	0
TOSCANA	83	4	503,675	11,562
TRENTINO – A. A.	30	0	191,598	0
UMBRIA	7	0	77,134	0
VENETO	44	0	272,313	0
<b>TOTALE</b>	<b>570</b>	<b>43</b>	<b>3.376,468</b>	<b>253,321</b>

Tabella 3 – Dati di sintesi dello sviluppo degli assi ferroviari principali all'esterno degli agglomerati.

## 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.

Ai fini del presente studio 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.

## 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 principali esterni agli agglomerati con più di 100.000 abitanti;
- *Mappe Georeferenziate*, in formato shape file, 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) alla quota di 4 metri sul piano di campagna, prodotti in maniera conforme a quanto prescritto: al documento "EIONET Reportnet - Delivery Guide for Environmental NoiseData - User Manual - Version 1.3" redatto dall'European Environment Agency (EEA) e pubblicato sul sito della Commissione Europea nel mese di aprile del 2010;
- *Mappe Georeferenziate*, in formato shape file, con i confini dei comuni che intersecano le curve isofoniche relative a valori di  $L_{den}$  pari a 55 dB(A) e 65 dB(A);
- *END Reporting Mechanism Data Template* contenente i dati richiesti per le infrastrutture ferroviarie nel formato proposto dal "Reporting Mechanism proposed for reporting under the Environmental Noise Directive 2002/49/EC - Handbook (including Data Specifications)", pubblicato sul sito della Commissione Europea nel mese di ottobre del 2007;
- *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 nel mese di maggio del 2012 sul sito internet <http://dd.eionet.europa.eu/datasets/>. Tale formato risulta sostanzialmente equivalente all'END Reporting Mechanism Data Template proposto dal "Reporting Mechanism proposed for reporting under the Environmental Noise Directive 2002/49/EC - Handbook (including Data Specifications)", pubblicato sul sito della Commissione Europea nel mese di ottobre del 2007;
- *Metadati* relativi a ciascun documento oggetto di consegna, allegato all'END Reporting Mechanism Data Template.

## 6.1 Mappe georeferenziate

Le mappe acustiche georeferenziate, in formato shape file, rappresentano le geometrie, in coordinate piane UTM/WGS84 fuso 32, degli assi ferroviari principali esterni agli 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) alla quota di 4 metri sul piano di campagna, e dei confini dei comuni che intersecano le curve isofoniche relative a valori di  $L_{den}$  pari a 55 dB(A) e 65 dB(A).

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

Per i confini dei comuni che intersecano le curve isofoniche relative a valori di  $L_{den}$  pari a 55 dB(A) e 65 dB(A) sono riportati i seguenti attributi:

- nome del comune,
- nome della regione di appartenenza del comune,
- nome della provincia di appartenenza del comune.

Per gli assi ferroviari principali sono riportati i seguenti attributi:

- codice dell'ente responsabile della trasmissione dei dati alla CE (REPORTING\_ENTITY\_UNIQUE\_CODE - DF0\_MRail),
- codice unico dell'asse ferroviario (UNIQUE\_RAIL\_ID - DF1\_MRail).

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

- codice dello Stato Membro (Country Code – DF0\_MRail),
- codice dell'ente responsabile della trasmissione dei dati alla CE (REPORTING\_ENTITY\_UNIQUE\_CODE - DF0\_MRail),
- livelli acustici associati alle curve isofoniche.

## 6.2 END Reporting Mechanism Data Template

I dati richiesti dal formato di trasmissione indicato nell'*END Reporting Mechanism Data Template* (messo a punto nell'ottobre del 2007 dalla DG ENV della Commissione Europea, sulla base delle risultanze di un progetto realizzato dal Bureau Veritas su incarico della European Environment Agency e pubblicato sul sito della Commissione Europea) sono presentati attraverso i seguenti “Data Flow”:

- “DF1(and DF5)\_Mrail” contenente la descrizione generale dei singoli assi ferroviari esterni agli agglomerati;

- “DF2\_Map\_Mrail” contenente l’indicazione dell’autorità competente per la mappatura di ciascun asse ferroviario elencato nel “DF1\_Mrail”;
- “DF2\_Map\_Code\_Mrail” contenente l’indirizzo del gestore d’infrastruttura ed i dati delle persone di riferimento;
- “DF4(and DF8)\_Mrail” contenente i dati acustici di esposizione della popolazione al rumore ferroviario, ai sensi dei commi 2.5, 2.6 e 2.7 dell’Allegato 6 del D.Lgs.194/05, aggregati a livello nazionale per tutti gli assi ferroviari principali con più di 30.000 esterni agli agglomerati e di seguito elencati:
  - il numero stimato di persone che occupano abitazioni esposte al rumore ferroviario espresso in termini di Lden (2.5 dell’Allegato 6 del D.Lgs.194/05);
  - il numero stimato di persone che occupano abitazioni dotate di una facciata silenziosa rispetto al livello Lden; (2.5 lett.b dell’Allegato 6 del D.Lgs.194/05);
  - il numero stimato di persone che occupano abitazioni esposte al rumore ferroviario espresso in termini di Lnight; (2.6 dell’Allegato 6 del D.Lgs.194/05);
  - il numero stimato di persone che occupano abitazioni dotate di una facciata silenziosa rispetto al livello Lnight; (2.6 lett.b dell’Allegato 6 del D.Lgs.194/05);
  - i valori stimati dell'area totale (in km<sup>2</sup>), del numero totale di abitazioni e del numero totale di persone esposti a valori di Lden maggiori di 55 dB(A), 65 dB(A) e 75 dB(A). (2.7 dell’Allegato 6 del D.Lgs.194/05).

### 6.3 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, nel mese di maggio 2012, sul sito internet <http://dd.eionet.europa.eu/datasets/>) sono presentati attraverso i seguenti “Data Flow”:

- “NoiseDirectiveDF1\_5\_Mrail” contenente la descrizione generale dei singoli assi ferroviari principali esterni agli agglomerati;
- “NoiseDirectiveDF2\_Map\_Mrail” contenente l’indicazione dell’autorità competente per la mappatura di ciascun asse ferroviario elencato nel “DF1\_Mrail”;
- “NoiseDirectiveDF2\_Map\_Code\_Mrail” contenente l’indirizzo del gestore d’infrastruttura ed i dati delle persone di riferimento;

- “NoiseDirectiveDF2\_Map\_Collect\_Mrail” contenente l’indicazione dell’autorità competente per la raccolta dei dati mappatura;
- “NoiseDirectiveDF4\_8\_Mrail” contenente i dati acustici di esposizione della popolazione al rumore ferroviario, ai sensi dei commi 2.5, 2.6 e 2.7 dell’Allegato 6 del D.Lgs.194/05, aggregati a livello nazionale per tutti gli assi ferroviari principali con più di 30.000 esteri agli agglomerati.

## 6.4 Metadati

Sono forniti, in file MS-Excel e MS-Word, i metadati relativi a ciascuno dei documenti allegati all’ END Reporting Mechanism Data Template e oggetto di consegna.

## 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.

Nell'ambito della mappatura acustica degli assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli all'anno negli agglomerati con più di 250.000 convogli all'anno, svolta nel dicembre 2006, il modello "RFI-INAC" è stato messo a confronto con il metodo di calcolo ufficiale dei Paesi Bassi pubblicato in «Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996» e indicato nel punto 2.1, lettera d) dell'allegato 2 del Decreto Legislativo 19 agosto 2005 n. 194. L'analisi comparativa ha manifestato una sostanziale equivalenza dei risultati ottenuti con l'applicazione dei due metodi di calcolo.

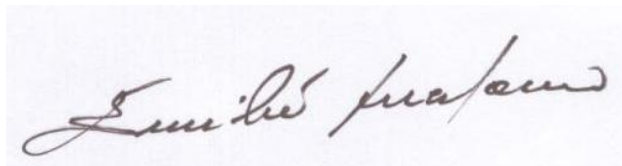
In occasione della redazione della mappatura del 2006, del piano d'azione del 2007 e del presente lavoro, il modello di simulazione "RFI-INAC" è stato alimentato con i dati cartografici e di traffico di volta in volta aggiornati e disponibili sui sistemi informativi integrati di RFI. Sono stati predisposti pre e post-processor al modello per la valutazione dei dati richiesti nell'allegato 6 del D.Lgs.194 del 19 agosto 2005.

Come indicato dal "Reporting Mechanism proposed for reporting under the Environmental Noise Directive 2002/49/EC - Handbook (including Data Specifications)", pubblicato sul sito della Commissione Europea nel mese di ottobre del 2007, è stata effettuata un'analisi comparata della metodologia di elaborazione adottata da RFI con i criteri raccomandati dalla Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, che mostra un sostanziale soddisfacimento dei requisiti generali proposti dal WG-AEN.

La mappatura acustica è stata effettuata per uno sviluppo complessivo di circa 3.400 km di infrastruttura ferroviaria, corrispondente alle 570 tratte al di fuori degli agglomerati con più di 100.000 abitanti comunicati dal Ministero dell'Ambiente del Territorio e della Tutela del Mare.

Roma, giugno 2012

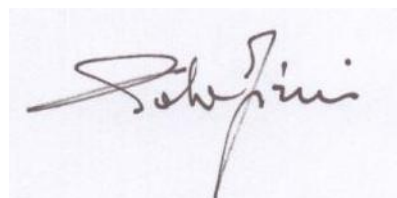
Redatto da: Ing. Emilio Lucadamo



Verificato da: Ing. Cinzia Giangrande  
(Responsabile della S.O. Ambiente)



Ing. Paola Firmi  
(Responsabile della S.O. Ingegneria Civile)





**ALLEGATO A. “Analisi comparata tra la metodologia di calcolo adottata da RFI e le raccomandazioni della Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure (GPG), pubblicata dal WG-AEN il 13 agosto 2007”**

Come previsto dal “Reporting Mechanism proposed for reporting under the Environmental Noise Directive 2002/49/EC - Handbook (including Data Specifications)”, pubblicato sul sito della Commissione Europea nel mese di ottobre del 2007, è stato effettuato un confronto tra la metodologia di calcolo adottata e le raccomandazioni della Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure (GPG) che ha tenuto conto di tutti gli aspetti, tra quelli trattati dalle linee guida pubblicate dal WG-AEN, applicabili al caso specifico.


Nella tabella 1 sono descritti i dettagli dell'analisi. In particolare nella prima colonna si ritrova il riferimento al paragrafo della GPG che descrive l'argomento trattato. Nella seconda colonna è indicato il riferimento al corrispondente Toolkit della GPG, laddove applicabile. Nella terza colonna si ritrova una breve sintesi delle raccomandazioni fornite dalla GPG. Nella quarta colonna sono descritte brevemente le modalità di elaborazione adottate da RFI. Nella quinta colonna viene riportata la stima, qualitativa o quantitativa, dell'accuratezza del criterio di calcolo adottato, sulla base delle indicazioni della GPG, laddove disponibili.


La simbologia, utilizzata dalle linee guida per descrivere il livello di accuratezza qualitativa e quantitativa dei Tool applicati, viene riportata nelle seguenti legende:

Codici per la stima quantitativa dell'accuratezza	
Accuratezza	Codice
bassa	> 5 dB
·	4 dB
·	3 dB
·	2 dB
·	1 dB
alta	< 0.5 dB

Codici per la stima qualitativa dell'accuratezza	
Accuratezza	Codice
bassa	△
·	◇
·	◓
alta	◔


Tabella 1 - Confronto tra la metodologia di calcolo adottata da RFI e le raccomandazioni della Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure (GPG).


GPG		RFI		
Rif. § GPG	Toolkit	Raccomandazioni	Metodologia	Accuratezza
2.04 Area da mappare	1	L'area da mappare, secondo quanto raccomandato dalla GPG, dovrebbe essere corrispondente ad un corridoio di semiampiezza pari a 1,5 volte la massima distanza tra le curve isofoniche relative ai valori $L_{den}=55dB(A)$ e $L_{night}=50dB(A)$ e l'asse ferroviario.	Il calcolo dei livelli di immissione sui vertici del reticolo di maglia quadrata è stato esteso fino ad una distanza dall'asse del binario più esterno pari a 500 metri. Tale distanza corrisponde al limite della cartografia in dotazione di RFI. L'area mappata ha un'estensione tale da comprendere anche le curve isofoniche relative ai valori $L_{den}=55dB(A)$ e $L_{night}=45dB(A)$ e tutti i punti di calcolo del grigliato con valori superiori o uguali a $L_{den}=45dB(A)$ e $L_{night}=35dB(A)$ . Il calcolo sui ricettori, invece, viene invece effettuato su tutti gli edifici che si trovano in prossimità di un vertice del reticolo di calcolo sul quale si è computato un valore di $L_{den}$ maggiore o uguale a $55dB(A)$ ovvero un valore di $L_{night}$ maggiore o uguale a $45dB(A)$ .	n.v.
2.06 Anno solare di riferimento	n.a.	Ai fini di ottemperare all'articolo 7, comma 1 della direttiva 2002/49/CE, il WG-AEN ritiene che, per la prima fase, le mappature acustiche strategiche devono rappresentare la situazione relativa almeno all'anno 2006. Il WG-AEN, tuttavia, conviene che possono essere rappresentate anche altre situazioni, passate o future, come raccomandato dall'Annex VI, comma 1 della direttiva. I dati utilizzati per il calcolo delle emissioni dovrebbero esprimere la media calcolata su un periodo continuo di dodici mesi di un anno solare. Tali dati possono essere dati reali o prodotti attraverso tecniche di previsione o modellizzazione.	Si sono utilizzati i dati di traffico reali riferiti all'anno 2010 perché le analisi sono state avviate nel gennaio del 2011.	n.v.
2.07 Anno medio sotto il profilo meteorologico	18	Il WG-AEN raccomanda che i dati meteorologici vengano ricavati: <ul style="list-style-type: none"> <li>• effettuando misure "ad hoc" negli agglomerati e in prossimità degli assi principali;</li> <li>• utilizzando i risultati di misure di letteratura, che siano rappresentativi, dal punto di vista meteorologico, del sito oggetto di analisi;</li> <li>• utilizzando dati medi su scala nazionale.</li> </ul>	Si sono impostati i seguenti parametri meteorologici, mediati sull'intero territorio nazionale: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura dell'aria pari a <math>15\text{ }^{\circ}C</math></li> <li>• Umidità relativa dell'aria pari a <math>60\%</math></li> <li>• Pressione atmosferica pari a <math>101,325\text{ Kpa}</math></li> </ul>	

GPG		RFI		
Rif. § GPG	Toolkit	Raccomandazioni	Metodologia	Accuratezza
2.21 Rugosità	n.a.	Il WG-AEN raccomanda che, laddove siano disponibili dati sulla rugosità della rotaia, questi dovrebbero essere utilizzati nel calcolo delle mappe acustiche se il metodo di calcolo prescelto lo permette. Se tali dati non fossero disponibili, dovrebbe essere definito un valore medio di rugosità a livello nazionale.	Nel modello "RFI-INAC" l'emissione viene calcolata sulla base di una banca dati costruita su misure effettuate a campione su diversi siti, rappresentativa di una condizione media di rugosità del materiale rotabile e dell'infrastruttura ferroviaria, su scala nazionale.	n.v.
2.23 Velocità dei convogli	9	Il WG-AEN raccomanda di utilizzare i dati di velocità nei seguenti modi: <ul style="list-style-type: none"> <li>• acquisire i dati disponibili presso i gestori della rete o presso le imprese ferroviarie, ovvero, in alternativa;</li> <li>• utilizzare dati misurati;</li> <li>• calcolare la velocità media attraverso l'uso di tabelle orari e distanze;</li> <li>• utilizzare il valore minimo tra la velocità massima del treno e la velocità massima ammissibile sul binario.</li> </ul>	Si sono utilizzati i dati reali di entità e composizione del traffico circolato per ogni giorno dell'anno solare 2010. Tali informazioni hanno 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.	
2.24 Assi principali con meno di 30.000 convogli all'anno	n.a.	Il WG-AEN raccomanda di mappare, oltre agli assi principali, anche piccoli tratti, inclusi in essi, in cui il traffico scende sotto i 30.000 transiti annui, utilizzando l'effettivo numeri di treni in ciascuna tratta.	La mappatura acustica è stata effettuata per tutte le tratte ferroviarie incluse negli agglomerati, pertanto, non presenta in nessun caso la frammentarietà prospettata dalla GPG.	n.v.
2.25 Rumore associato alla frenata dei treni in stazione	n.a.	Il WG-AEN raccomanda, laddove i metodi di calcolo non includano un sistema per valutare il rumore dei treni in fermata nelle stazioni, di assegnare a questi convogli una velocità "equivalente" di transito pari a 40km/h, indicando la lunghezza del tratto di binario su cui applicare tale soluzione.	Per i treni in fermata nelle stazioni, si sono applicate le stesse condizioni di transito degli altri tratti di infrastruttura ferroviaria lungo la linea. La velocità assegnata è, pertanto, la stessa calcolata lungo le corrispondenti tratte a cavallo della stazione, a vantaggio di sicurezza rispetto a quanto proposto dalla GPG..	n.v.
2.26 Errore relativo al posizionamento del binario	n.a.	Il WG-AEN raccomanda che ai fini della mappatura acustica strategica, i binari digitalizzati, su cui sono applicati i punti di emissione, siano sempre accuratamente inclusi nella sede ferroviaria.	Si è utilizzato un modello di rete digitalizzato, incluso nella banca dati GIS di RFI, che è stato largamente testato in numerose applicazioni. Il requisito di precisione, relativo al posizionamento dei binari, nella banca dati GIS, raccomandato dalla GPG risulta ampiamente soddisfatto.	n.v.
2.27 Assegnazione dei transiti ai diversi binari di un'infrastruttura	n.a.	Il WG-AEN raccomanda di utilizzare i dati di assegnazione dei transiti a ciascun binario di una linea ferroviaria laddove questi siano disponibili. In caso contrario si raccomanda di assegnare il traffico ai binari sulla base delle conoscenze a livello locale, ovvero, in totale assenza di informazioni di dettaglio, di assegnare a ciascun binario, in maniera uniforme, lo stesso numero di transiti.	Si sono utilizzati i dati reali di entità e composizione del traffico circolato per ogni giorno dell'anno solare 2010. Tali informazioni hanno consentito di attribuire a ciascun binario l'effettiva distribuzione del traffico in termini di tipologia di treno, fascia oraria e velocità.	n.v.

GPG		RFI		
Rif. § GPG	Toolkit	Raccomandazioni	Metodologia	Accuratezza
2.31 Altezza del terreno in prossimità della sorgente	11 e 12	<p>Il WG-AEN raccomanda di utilizzare i Toolkit 11 e 12, adattati al caso di sorgenti ferroviarie, per la produzione dei dati di input relativi all'andamento altimetrico del terreno in prossimità degli assi ferroviari su cui si intende effettuare la mappatura acustica strategica. In particolare, il Toolkit 11 prevede, con livelli di accuratezza decrescenti, le seguenti metodologie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizzo di un modello digitale del terreno commerciale o l'utilizzo di dati provenienti da un rilievo sul campo effettuato "ad hoc" attraverso un sistema GPS;</li> <li>• Utilizzo di sezioni della sede ferroviaria da cui dedurre l'altezza della sorgente;</li> <li>• Utilizzo di un'altezza fissa dei rilevati e delle trincee stimata visivamente a seguito di un sopralluogo;</li> <li>• Utilizzo, in caso di assenza di informazioni, di un'altezza standard nel caso dei rilevati (ad es. pari a 1,5 metri), mentre il territorio circostante può essere considerato piatto.</li> </ul> <p>Il WG-AEN precisa che, normalmente, per la mappatura acustica strategica viene utilizzata una precisione altimetrica pari a <math>5 \div 10</math> metri, ma raccomanda che tale precisione si riduca ad 1 metro nelle immediate vicinanze della sorgente e <math>5 \div 10</math> metri nel resto del territorio.</p>	<p>E' stato effettuato un aggiornamento del GIS di RFI, importando un nuovo modello digitale del terreno avente un passo di campionamento di 5 metri su un corridoio di 500 metri a cavallo dell'infrastruttura. La precisione altimetrica minima del DTM utilizzato è inferiore o uguale a 1,5 metri per il 95% dei punti del territorio indagato.</p>	<b>&lt; 0.5 dB</b>
2.32 Tipologia del terreno	13	<p>Il WG-AEN raccomanda di utilizzare il Toolkit 13 per la determinazione della tipologia di superficie del terreno, ignorando le aree di piccole dimensioni (Area &lt; 250 m<sup>2</sup>) che si caratterizzano diversamente dal territorio circostante. In particolare, il Toolkit 13 prevede, con livelli di accuratezza decrescenti, l'utilizzo delle seguenti metodologie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizzo di geometrie dettagliate delle superfici riflettenti e assorbenti;</li> <li>• Utilizzo di un'ampia classificazione dell'uso del territorio, nell'ambito della quale si assegni a ciascuna classe uno specifico ground factor;</li> <li>• Utilizzo di una classificazione del territorio in aree urbane, suburbane e rurali, alle quali si assegni, rispettivamente, un ground factor pari a 1 (completamente riflettenti), 0,5 (parzialmente riflettenti) e 0 (completamente assorbenti);</li> <li>• L'applicazione di un ground factor pari a 1 (completamente riflettente) a tutto il territorio interessato dalle elaborazioni.</li> </ul>	<p>Per la caratterizzazione delle proprietà acustiche del terreno circostante l'infrastruttura è stato utilizzato il Clutter già adottato da RFI per la mappatura acustica ai sensi del D.M. Ambiente del 29/11/2000. Tutto il territorio nazionale è stato suddiviso in aree omogenee a cui è stato attribuito l'appropriato coefficiente di assorbimento e/o riflessione. In particolare il territorio è stato suddiviso in 14 zone omogenee come descritto nella tabella 2 di pag.33.</p>	<b>1 dB</b>

GPG		RFI		
Rif. § GPG	Toolkit	Raccomandazioni	Metodologia	Accuratezza
2.33 Barriere	14	<p>Il WG-AEN raccomanda di utilizzare il Toolkit 14 per determinare i dati di input al modello di calcolo relativi alle caratteristiche delle barriere antirumore. In particolare, il Toolkit 14 prevede, con livelli di accuratezza decrescenti, l'utilizzo delle seguenti metodologie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'utilizzo di dati relativi all'altezza delle barriere rispetto al piano del ferro;</li> <li>• l'utilizzo di dati relativi all'altezza delle barriere rispetto al piano di campagna;</li> <li>• stima visiva dell'altezza delle barriere.</li> </ul>	<p>E' stato effettuato un censimento di tutte le opere di mitigazione acustica già realizzate, individuando le progressive chilometriche di inizio e fine e la loro altezza complessiva dal piano di estradosso della fondazione, che sono state prese in considerazione ai fini del calcolo della propagazione.</p>	< 0.5 dB
2.34 Altezza degli edifici	15	<p>Il WG-AEN raccomanda di utilizzare il Toolkit 15 per determinare i dati di input al modello di calcolo relativi alle altezze degli edifici. In particolare, il Toolkit 15 prevede, con livelli di accuratezza decrescenti, l'utilizzo delle seguenti metodologie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'utilizzo diretto di dati relativi all'altezza degli edifici;</li> <li>• l'utilizzo di dati relativi al numero di piani degli edifici. In tal caso si può moltiplicare il numero di piani per un'altezza media dei piani (ad es. 3 metri);</li> <li>• in assenza di informazioni si possono adottare, con livelli di accuratezza decrescenti, i seguenti criteri: <ul style="list-style-type: none"> <li>o usare foto aeree per stimare l'altezza degli edifici;</li> <li>o effettuare visite in situ e contare il numero di piani;</li> <li>o usare foto aeree per stimare il numero di piani;</li> <li>o usare un'altezza di default per ciascuna tipologia di edificio;</li> <li>o usare un'altezza di default per tutti gli edifici.</li> </ul> </li> </ul>	<p>Si è tenuto conto della quota in gronda degli edifici presenti in cartografia, valutata rispetto al piano di campagna. La cartografia è stata ottenuta da rilievi sul campo ed è stata completata agli inizi degli anni '90. L'aggiornamento degli edifici è stato ottenuto dalla analisi di ortofoto (con date di ripresa variabile dal 1996 al 2000) e successiva ispezione sul campo per determinazione l'altezza dei nuovi edifici.</p>	< 0.5 dB
2.37 Imbocchi delle gallerie	n.a.	<p>Il WG-AEN raccomanda di non tenere in conto le sorgenti interne alle gallerie e di considerare gli imbocchi delle gallerie come superfici riflettenti.</p>	<p>Le sorgenti interne alle gallerie vengono annullate nelle elaborazioni, mentre si tiene conto delle riflessioni delle superfici di imbocco alle gallerie.</p>	n.v.

GPG			RFI	
Rif. § GPG	Toolkit	Raccomandazioni	Metodologia	Accuratezza
2.38 Coefficients di assorbimento delle facciate degli edifici e delle barriere	16	<p>Il WG-AEN raccomanda di utilizzare il Toolkit 16 per determinare i dati relativi alle riflessioni delle facciate degli edifici e delle barriere, laddove il modello di calcolo consente di inserire in input tali parametri. In particolare, il Toolkit 16 prevede, con livelli di accuratezza decrescenti, l'utilizzo delle seguenti metodologie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'utilizzo di dati relativi all'effettivo coefficiente di assorbimento di ciascun edificio o barriera, laddove disponibile ovvero l'utilizzo di dati provenienti da misure "ad hoc" dei coefficienti di assorbimento;</li> <li>• l'utilizzo di valori prefissati del coefficiente di assorbimento per le diverse tipologie di manufatti presenti nella tabella inclusa nel toolkit stesso;</li> <li>• l'utilizzo di un valore di default del coefficiente di assorbimento per tutti gli edifici e le barriere.</li> </ul>	Si è utilizzato un coefficiente di riflessione pari a 0,8 per tutti gli edifici presenti in cartografia.	2 dB
2.39 Impatto meteorologico e condizioni favorevoli alla propagazione	17 e 18	<p>Il WG-AEN raccomanda di utilizzare i Toolkit 17 e 18 per determinare i dati di input al modello di calcolo relativi alle condizioni favorevoli alla propagazione e ai parametri meteorologici. In particolare, il Toolkit 17 prevede, con livelli di accuratezza decrescenti, l'utilizzo delle seguenti metodologie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'utilizzo di dati relativi agli effettivi meteorologici locali relativi al verificarsi di condizioni favorevoli alla propagazione;</li> <li>• l'utilizzo di dati provenienti da standard o regolamenti nazionali;</li> <li>• l'utilizzo di valori medi annui prefissati, relativi alla probabilità che si verifichino condizioni favorevoli alla propagazione, presenti nella tabella inclusa nel toolkit stesso;</li> <li>• l'utilizzo di dati meteorologici di default a livello nazionale.</li> </ul> <p>Il Toolkit 18, invece, prevede, con livelli di accuratezza decrescenti, l'applicazione dei seguenti criteri:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'utilizzo di dati relativi agli effettivi valori di umidità e temperatura, laddove disponibili;</li> <li>• l'utilizzo di dati di letteratura di umidità e temperatura;</li> <li>• l'utilizzo di valori di default di umidità e temperatura.</li> </ul>	<p>Si sono utilizzati valori di default corrispondenti ad un continuo verificarsi delle condizioni favorevoli alla propagazione per tutto il territorio nazionale.</p> <p>I singoli parametri meteorologici sono stati impostati come descritto al punto 2.07.</p>	

GPG		RFI		
Rif. § GPG	Toolkit	Raccomandazioni	Metodologia	Accuratezza
2.43 Scelta dei punti di calcolo	n.a.	<p>Il WG-AEN, ai fini di rendere omogenee le modalità di scelta dei punti di calcolo, raccomanda che, per la produzione delle curve isofoniche, il calcolo dei livelli di immissione sui punti del reticolo soddisfi i seguenti requisiti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• la larghezza del reticolo di calcolo non dovrebbe essere maggiore di 10 metri negli agglomerati, né maggiore di 30 metri al di fuori di essi. Nelle aree urbane la spaziatura dei punti di calcolo potrebbe ridursi anche a 2 metri, laddove il software lo consenta;</li> <li>• tenere in conto almeno le riflessioni del primo ordine sugli edifici e sugli ostacoli in genere.</li> </ul>	<p>Per la produzione delle curve isofoniche, il calcolo dei livelli di immissione sui punti del reticolo è stato effettuato come segue:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• la larghezza del reticolo di calcolo è pari a 10 metri su tutto il territorio interessato dalle elaborazioni;</li> <li>• si è tenuto conto delle riflessioni del terzo ordine sugli edifici e sugli ostacoli in genere.</li> </ul>	n.v.
2.44 Determinazione dei livelli di rumore sulle abitazioni	n.a.	<p>Il WG-AEN, ai fini di rendere omogenee le modalità di scelta dei punti di calcolo, raccomanda che, per la valutazione dei livelli di rumore sulle abitazioni, il calcolo sia effettuato a 10 cm dalla facciata, escluda le riflessioni della facciata degli edifici, tenga conto almeno delle riflessioni del primo ordine sugli altri edifici e sugli ostacoli in genere, e sia effettuato su un punto ogni tre metri lungo la facciata assegnando alla facciata stessa il valore più alto fra quelli risultanti.</p> <p>Laddove il software non supporti la generazione automatica dei punti di calcolo, possono essere utilizzati i livelli di immissione sul reticolo di calcolo. In tal caso, si dovrebbe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• assegnare alla facciata il più alto tra i livelli di immissione calcolati su punti del reticolo adiacenti alla facciata stessa ovvero su quei punti per i quali il quadrato di lato pari alla larghezza del reticolo, con centro nel punto stesso, interseca la facciata;</li> <li>• sottrarre 3 dB(A) al livello di immissione risultante sulla facciata, per escludere il contributo di riflessione sulla facciata più esposta.</li> </ul>	<p>Per la valutazione dei livelli di rumore sugli edifici abitativi, si sono adottate le seguenti modalità:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• il calcolo è stato effettuato a 1 metro dalla facciata;</li> <li>• si sono escluse le riflessioni della facciata dell'edificio;</li> <li>• si è tenuto conto delle riflessioni del terzo ordine sugli altri edifici e sugli ostacoli in genere;</li> <li>• il calcolo è stato effettuato sul punto medio della facciata più esposta.</li> </ul>	n.v.
2.45 Calcolo della popolazione negli appartamenti in edifici residenziali	19	<p>Il WG-AEN raccomanda di utilizzare il Toolkit 19 per determinare i criteri per la stima della popolazione che occupa le unità abitative negli edifici residenziali. In particolare, il Toolkit 19 prevede, l'utilizzo di dati relativi all'effettivo numero di persone che abitano in ciascun edificio ovvero l'utilizzo di dati statistici relativi al numero di persone che abitano nell'intera area da mappare o in sottoaree.</p>	<p>La stima del numero di persone che occupano edifici abitativi esposti al rumore ed edifici abitativi dotati di facciata silenziosa, è stata effettuata 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 2001 relativi al numero dei residenti e alla superficie delle abitazioni (appartamenti) occupate da residenti, riferiti alla sezione di censimento di appartenenza del</p>	





GPG			RFI	
Rif. § GPG	Toolkit	Raccomandazioni	Metodologia	Accuratezza
			fabbricato.	
2.47 Calcolo del numero di appartamenti in edifici residenziali	20	<p>Il WG-AEN raccomanda di utilizzare il Toolkit 20 per determinare i criteri per la stima del numero di unità abitative negli edifici residenziali. In particolare, il Toolkit 20 prevede, con livelli di accuratezza decrescenti, l'utilizzo delle seguenti metodologie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• conteggio del numero di appartamenti per ogni edificio residenziale;</li> <li>• l'utilizzo di dati statistici per la determinazione del numero di appartamenti per edificio residenziale;</li> <li>• l'utilizzo di registri digitalizzati esistenti;</li> <li>• l'extrapolazione attraverso campioni di differenti tipologie di unità abitative.</li> </ul>	<p>La stima del numero di unità abitative negli edifici residenziali è stata effettuata 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 2001 relativi al numero dei abitazioni e alla superficie delle abitazioni occupate da residenti, riferiti alla sezione di censimento di appartenenza del fabbricato.</p>	
2.47 Calcolo dei livelli di rumore ai residenti in edifici occupati da più di un appartamento	21	<p>Il WG-AEN raccomanda di utilizzare il Toolkit 21 per l'assegnazione dei livelli di rumore ai residenti in edifici occupati da più di un appartamento. In particolare, il Toolkit 21 prevede, con livelli di accuratezza decrescenti, l'applicazione dei seguenti criteri:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'utilizzo di dati relativi alla posizione delle unità abitative all'interno di ciascun edificio residenziale, con assegnazione del livello della facciata più esposta associata a ciascun appartamento;</li> <li>• l'assegnazione a tutte le unità abitative all'interno di un edificio residenziale, del livello della facciata più esposta relativa all'edificio stesso.</li> </ul>	<p>L'assegnazione dei livelli di rumore ai residenti in edifici occupati da più di un appartamento viene effettuata tramite l'assegnazione a tutte le unità abitative all'interno di un edificio residenziale, del livello della facciata più esposta relativa all'edificio stesso.</p>	

Tabella 2 – Classificazione del territorio nazionale in classi omogenee di clutter.

Classe di Clutter	Nome	Descrizione	Indice di Clutter
1	Mare / Acque interne	Tutto il territorio coperto prevalentemente da acqua con caratteristiche non stagionali.	0
2	Area aperta / roccia	Territorio con prevalenza roccia.	0
3	Area aperta / sabbia	Territorio con prevalenza sabbia.	0
4	Foresta	Territorio completamente coperto da essenze arboree o da macchia, con presenza o meno di edifici sparsi.	1
5	Prato/Pascolo	Area con prevalenza di vegetazione bassa, con possibilità di vegetazione arborea rada e con presenza o meno di edifici agricoli sparsi.	1
6	Rurale	Area coltivata con presenza di un solo tipo di coltivazione dominante. Possibile presenza di case sparse.	1
7	Villaggio	Area edificata in contesto rurale, dimensioni modeste.	0
8	Area industriale	Indipendentemente dalla percentuale di territorio urbanizzato, prevalenza di edifici industriali e/o capannoni rispetto a civili abitazioni. Edifici con pianta larga di altezza generalmente inferiore a 20 metri, strade larghe 20 metri o più.	0
9	Area residenziale	Prevalenza aree scoperte (bassa percentuale di urbanizzato), tessitura non omogenea, tipologia di costruzione generalmente non omogenea, edifici spesso circondati da aree verdi.	0
10	Area urbana media densità	Media/alta percentuale di aree coperte da edificato. Strade prevalentemente larghe e sufficientemente rettilinee. Tessitura dell'urbanizzato in prevalenza geometricamente definita.	0
11	Area urbana ad alta densità	Alta percentuale di aree coperte da edificato. Strade relativamente strette (mediamente < 6m). Distribuzione della tessitura di urbanizzato molto irregolare con strade generalmente non rettilinee.	0
12	Parco	Aree coperte da qualsiasi tipo di vegetazione inserito in un contesto urbano, ivi compresi campi di calcio, golf, grandi cimiteri.	1
13	Area aperta in città / asfalto	Piazzali con presenza dominante di parti asfaltate, circondate da edificato denso, medio, residenziale.	0
14	Area aperta in città / sterrato	Piazzali con presenza dominante di parti sterrate, circondate da edificato denso, medio, residenziale.	0