

**Mappatura acustica
degli assi ferroviari
principali con più di
60.000 convogli
all'anno negli
agglomerati con più di
250.000 abitanti**

Relazione tecnica

Roma, 22 Dicembre 2006

Indice

1. Premessa	4
2. L'analisi della normativa di legge	5
3. La metodologia dello studio	7
4. Il modello di simulazione acustica "RFI-INAC"	8
5. L'analisi del traffico ferroviario	10
6. Il sistema informativo territoriale	13
7. La modalità di presentazione dei risultati	14
8. Le conclusioni	19

ALLEGATO "Analisi comparativa tra il modello RFI-INAC e 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"

A1. Premessa	21
A1.1 Scopo del documento	21
A1.2 Struttura del documento	22
A2. Descrizione del modello "SRM II"	23
A2.1 Caratteristiche generali	23
A2.2 Modello di emissione	23
A2.2.1 Categorie dei treni	23
A2.2.2 Categorie costruttive del binario	24
A2.2.3 Condizione di transito	25
A2.2.4 Calcolo dell'emissione	25
A2.2.5 Roughness (rugosità)	26
A2.2.6 Modello di sorgente	26
A2.3 Modello di propagazione	27
A2.3.1 Attenuazione per divergenza geometrica	28
A2.3.2 Direttività della sorgente	28
A2.3.3 Attenuazione per effetti di propagazione	28
A2.3.3.1 Attenuazione atmosferica	28
A2.3.3.2 Attenuazione per effetto ground	29
A2.3.3.3 Fattore di correzione meteorologico	29
A2.3.4 Attenuazione per mascheramento	30

A2.3.5 Contributo delle riflessioni	31
A3. Descrizione del modello "RFI-INAC"	32
A3.1 Caratteristiche generali	32
A3.2 Modello di emissione	32
A3.2.1 Categorie dei treni	32
A3.2.2 Calcolo dell'emissione	33
A3.2.3 Emissione di punti singolari	34
A3.2.4 Modello di sorgente	34
A3.3 Modello di propagazione	34
A3.3.1 Direttività della sorgente	35
A3.3.2 Attenuazione per divergenza geometrica	35
A3.3.3 Attenuazione atmosferica	36
A3.3.4 Attenuazione per effetto ground	36
A3.3.5 Attenuazione per mascheramento	37
A3.3.6 Contributo delle riflessioni	38
A4. Analogie e differenze tra il modello "RFI-INAC" ed il modello "SRM II"	39
A4.1 Modello di emissione	39
A4.2 Modello di sorgente	40
A4.3 Modello di propagazione	40
A4.3.1 Direttività della sorgente	41
A4.3.2 Attenuazione per divergenza geometrica	42
A4.3.3 Attenuazione atmosferica	42
A4.3.4 Attenuazione per effetto ground	43
A4.3.5 Attenuazione per mascheramento	45
A4.3.6 Correzione meteorologica	46
A4.3.7 Riflessioni	47
A5. Confronto tra modello "RFI-INAC" e modello di calcolo "SRM II" su casi di test	48
A5.1 Set up dei casi di test	48
A5.2 Schede dei casi di test – Confronto tra misure e simulazioni	50
A5.3 Risultati del confronto tra misure e simulazioni	62
A6. Conclusioni	66
A7. Bibliografia	67

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 principali della propria rete infrastrutturale in esercizio su cui transitano più di 60.000 convogli l'anno, inclusi negli agglomerati con più di 250.000 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 2.

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.

In allegato alla presente *Relazione Tecnica*, di cui costituisce parte integrante, è riportata un'analisi comparativa tra il modello di simulazione acustica "RFI-INAC" e 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.

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 (Regioni, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio).

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, 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, ai sensi dell'articolo 3 del decreto legislativo 30 aprile 1992 n. 285, contigui fra loro) 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 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:

- a) periodo giorno-sera-notte: dalle 6.00 alle 6.00 del giorno successivo, a sua volta così suddiviso:
 - 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;
- b) l'anno è l'anno di osservazione per l'emissione acustica e un anno medio sotto il profilo meteorologico.

3. La metodologia dello studio

L'obiettivo del presente lavoro è quello di individuare, all'interno del territorio degli agglomerati con più di 250.000 abitanti, le tratte su cui transitano più di 60.000 convogli all'anno e di elaborarne la mappatura acustica, secondo quanto previsto dall'articolo 3 del 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 la mappatura ed il piano di risanamento acustico redatti 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 a gennaio del 2006 (Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure).

Le principali attività condotte hanno riguardato:

- la revisione e l'aggiornamento del modello di simulazione;
- l'individuazione delle tratte con più di 60.000 convogli all'anno, comprese negli agglomerati con più di 250.000 abitanti;
- l'aggiornamento del sistema informativo territoriale e l'acquisizione dei dati statistici del Censimento ISTAT 2001.

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

4. Il 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 e che viene correntemente utilizzato per la progettazione definitiva delle opere di mitigazione individuate nel suddetto piano di risanamento.

La descrizione di dettaglio del modello “RFI-INAC” è riportata nel documento allegato alla presente *Relazione Tecnica*, in cui è presentata anche un’analisi comparativa 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.

Rispetto alla versione del modello “RFI-INAC” utilizzata per la redazione del piano di risanamento ai sensi del DM Ambiente del 29/11/2000, sono state apportate alcune modifiche e integrazioni 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 nuovi 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 2005.

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. È da sottolineare che nell'applicazione del decreto, su indicazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, per "abitazione" si è inteso "edificio abitativo".

Per la determinazione dei parametri descrittivi del territorio e della popolazione esposti al rumore sono state seguite le indicazioni dell'allegato 6. 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 delle abitazioni occupate da residenti, riferiti alla sezione di censimento di appartenenza del fabbricato.

5. 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 nell'allegato alla presente *Relazione Tecnica*),
- 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 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 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 RIACE –Reporting Informatizzato Andamento Circolazione Esercizio- è stato possibile individuare le tratte con più di 60.000 convogli all'anno ed estrarre per ognuna di esse i dati di entità e composizione del traffico per ogni giorno dell'anno solare 2005.

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.).

Con riferimento agli agglomerati con più di 250.000 abitanti indicati dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Torino,

Genova, Milano, Verona, Venezia, Bologna, Firenze, Roma, Napoli, Bari, Palermo e Catania) si è riscontrata la presenza di 74 tratte con più di 60.000 convogli all'anno, per un totale di circa 270 km di infrastruttura, di cui si fornisce l'elenco nella seguente Tabella 1.

Codice linea tecnica	Descrizione tratta ferroviaria	Lunghezza [km]	Traffico Annuale [n° convogli/anno]
Agglomerato di Bologna			
IT0445	LAVINO-B° S. VIOLA	6,043	60.688
IT0492	B° CROCIALI-BOLOGNA S. RUFFILLO	3,057	71.710
IT0492	BOLOGNA S. RUFFILLO -PIANORO	9,786	69.928
IT0492	PIANORO- MONZUNO	9,152	69.932
Agglomerato di Firenze			
IT0542	FIRENZE S.M.N. - DEV. ESTE. FI C.M.(B°PEL)	2,472	71.765
IT0542	DEV. ESTE. FI C.M.(B°PEL) - FIRENZE C.M.	1,735	68.097
IT0492	SESTO FIORENTINO - FIRENZE CASTELLO	2,632	90.031
IT0492	FIRENZE RIFREDI - FIRENZE S.M.N.	2,833	73.681
IT0496	FIRENZE CASTELLO - FIRENZE RIFREDI (LL)	2,521	83.386
Agglomerato di Genova			
IT0241	MIGNANEGO-GE S. QUIRICO	6,966	60.643
IT0241	GE S. QUIRICO-B° FEGINO	4,762	60.492
IT0278	GE SAMPIERDARENA-GE PIAZZA PRINCIPE	3,116	60.911
IT0440	GE PRA-GE PEGLI	2,605	62.499
IT0440	GE PEGLI-GE SESTRI PONENTE	2,524	62.397
IT0440	GE SESTRI PONENTE-GE CORNIGLIANO	1,707	65.672
IT0440	CORNIGLIANO-DEV E GE.SAMP(eX B°GE CORN.)	1,296	65.686
IT0493	GE BRIGNOLE-GE STURLA	2,986	63.506
IT0493	GE STURLA-GE QUARTO DEI MILLE	1,563	63.509
IT0493	GE QUARTO DEI MILLE-GE QUINTO AL MARE	2,029	68.821
IT0493	GE QUINTO AL MARE-GE NERVI	1,642	68.823
IT0493	GE NERVI-BOGLIASCO	2,128	60.537
Agglomerato di Milano			
IT0295	DATEO-MILANO P.TA VITTORIA	0,883	117.956
IT0261	SESTO S. GIOVANNI-MILANO GRECO P.(Lecco)	3,731	73.487
IT0261	MILANO P.TA GARIBALDI-B° MIRABELLO	2,070	66.921
IT0445	MILANO C.LE-MILANO LAMBRATE (BO)	3,805	90.903
IT0295	MILANO P.TA VENEZIA - DATEO	1,239	117.945
IT0259	RHO-MILANO CERTOSA (Varese)	7,689	71.875
IT0292	MILANO LAMBRATE-PIOLTELLO LIMITO	8,559	64.509
IT0107	MI ROGOREDO-D°B° S. DONATO MILANESE (DD)	2,756	72.953
IT0240	MILANO CERTOSA-T° B° SEVESO	5,207	64.393
IT0295	MILANO LANCETTI-MILANO P.TA GAR. PASS.	1,322	117.944
IT0295	MILANO P.TA GAR. PASS.-MILANO REP.	1,089	117.948
IT0295	MILANO REPUBBLICA-MILANO P.TA VENEZIA	0,969	117.943
IT0295	MILANO CERTOSA-VILLAPIZZONE	0,806	80.258
IT0445	MILANO LAMBRATE-MILANO ROGOREDO (BO)	5,767	82.590

Codice linea tecnica	Descrizione tratta ferroviaria	Lunghezza [km]	Traffico Annuale [n° convogli/anno]
Agglomerato di Napoli			
IT0550	CASORIA-B° POGGIOREALE	6,592	62.451
IT0544	B° POGGIOREALE-NAPOLI C.LE (CA)	2,477	101.675
IT0546	NAPOLI P.ZA GARIBALDI-NA GIANTURCO	1,120	82.169
IT0546	POZZUOLI SOLFATARE -BAGNOLI AGNANO T.	3,635	80.231
IT0546	BAGNOLI AGNANO T.-CAVALLEGGERI AOSTA	1,642	80.181
IT0546	CAVALLEGGERI AOSTA-NAPOLI CAMPI FLEGREI	0,835	80.253
IT0546	NAPOLI CAMPI FLEGREI-NA P.ZA LEOPARDI	0,413	83.611
IT0546	NA P.ZA LEOPARDI-NAPOLI MERGELLINA	2,024	83.608
IT0546	NAPOLI MERGELLINA-P.ZA AMEDEO	1,651	83.605
IT0546	P.ZA AMEDEO-NAPOLI MONTESANTO	1,535	83.577
IT0546	NAPOLI MONTESANTO-P.ZA CAVOUR	1,328	83.576
IT0546	P.ZA CAVOUR-NAPOLI P.ZA GARIBALDI	1,804	83.593
Agglomerato di Roma			
IT0541	ROMA TUSCOLANA-ROMA TERMINI	3,437	60.918
IT0500	PONTE GALERIA-MURATELLA	5,934	69.107
IT0500	MURATELLA-MAGLIANA	1,864	69.108
IT0500	MAGLIANA-VILLA BONELLI	3,327	69.109
IT0500	VILLA BONELLI-ROMA TRASTEVERE	2,880	69.108
IT0500	ROMA TRASTEVERE-ROMA OSTIENSE (LL)	1,485	69.077
IT0514	PC CAPENA-PC SETTEBAGNI	15,728	61.052
IT0514	PC SETTEBAGNI-D.B. NOMENTANO	10,031	61.052
IT0514	D.B. NOMENTANO-ROMA TIBURTINA (DD)	1,746	61.052
IT0514	ROMA TIBURTINA-ROMA TERMINI (DD)	4,510	67.885
IT0544	ROMA CASILINA-CAPANNELLE	5,763	72.391
IT0544	CAPANNELLE-CIAMPINO	3,926	70.297
IT0546	ROMA TERMINI-ROMA CASILINA (FO)	4,036	67.319
IT0542	ROMA TIBURTINA-ROMA TERMINI (LL)	4,426	67.885
Agglomerato di Torino			
IT0240	P.TA SUSA-P.TA DORA	1,966	73.026
IT0240	TORINO P.TA DORA-TORINO STURA	4,711	72.560
IT0240	TORINO STURA-SETTIMO	4,841	72.407
IT0240	SETTIMO-BRANDIZZO	7,160	60.329
IT0240	BRANDIZZO-CHIVASSO	4,299	60.334
IT0241	TORINO LINGOTTO- MONCALIERI (GE)	3,713	88.041
IT0241	TORINO P.TA NUOVA-TORINO LINGOTTO	4,160	67.131
Agglomerato di Venezia			
IT0290	VENEZIA P.M.-VENEZIA MESTRE (PV)	2,210	75.794
IT0290	VENEZIA P.M.-VENEZIA MESTRE (PN)	2,222	75.790
IT0290	B° MIRANO-VE MESTRE CABINA B	2,296	67.505
IT0350	VENEZIA MESTRE-CONFLUENZA UD-TS	0,908	66.016
IT0290	VENEZIA S. LUCIA-VENEZIA P.M.(PN)	6,147	75.808
IT0290	VENEZIA S. LUCIA-VENEZIA P.M. (PV)	6,160	75.812

Tabella 1 – Assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli all'anno

6. 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.

Ai fini del presente studio, è stato effettuato un ulteriore 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. Sono state inoltre aggiornate le sezioni di censimento sulla base dei dati ISTAT raccolti nel 2001.

7. 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 Acustiche* in formato grafico relative alla caratterizzazione del clima acustico in termini di L_{den} e L_{night} ed al superamento dei valori limite, espressi in livelli continui equivalenti L_{eq} diurno e L_{eq} notturno, previsti dal DPR 459/98;
- *Reporting Questionnaire v. 5.0*, contenente tutti i dati richiesti nell'allegato 6 del D.Lgs. 194/05, per le infrastrutture ferroviarie;
- *Mappe Georeferenziate*, in formato shape file, con i confini degli agglomerati, gli assi ferroviari principali e 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) ed a valori di L_{night} pari a 45 dB(A), 50 dB(A), 55 dB(A), 60 dB(A), 65 dB(A), 70 dB(A);
- *Livelli Acustici Georeferenzati* in termini di L_{den} ed L_{night} , nei vertici del reticolo di calcolo a maglia quadrata di larghezza pari a 10 metri, alla quota di 4 metri sul piano di campagna.

Mappe Acustiche

Un quadro di unione (si veda la figura 1) rappresenta la porzione di territorio comunale attraversata dall'infrastruttura ferroviaria e la relativa fascia di pertinenza, ai sensi del DPR 459/98. Sul quadro di unione è evidenziata la ripartizione del territorio nelle tavole numerate utilizzate per la presentazione dei risultati.

Al quadro di unione segue la prima serie di tavole (si veda la figura 2) che riporta, mediante aree di colore diverso, la rappresentazione del livello giorno-sera-notte L_{den} - livello continuo equivalente a lungo termine ponderato "A", determinato sull'insieme dei periodi giornalieri dell'anno solare 2005 - stimato con il modello di simulazione acustica sui vertici del reticolo a maglia quadrata di larghezza pari a 10 metri, alla quota di 4 metri sul piano di campagna.

Analogamente, la seconda serie di tavole (si veda la figura 3) riporta la rappresentazione del livello notturno L_{night} - livello continuo equivalente a lungo termine ponderato "A", determinato sull'insieme dei periodi notturni dell'anno solare 2005 - stimato con il modello di simulazione acustica sui

vertici del reticolo a maglia quadrata di larghezza pari a 10 metri, alla quota di 4 metri sul piano di campagna.

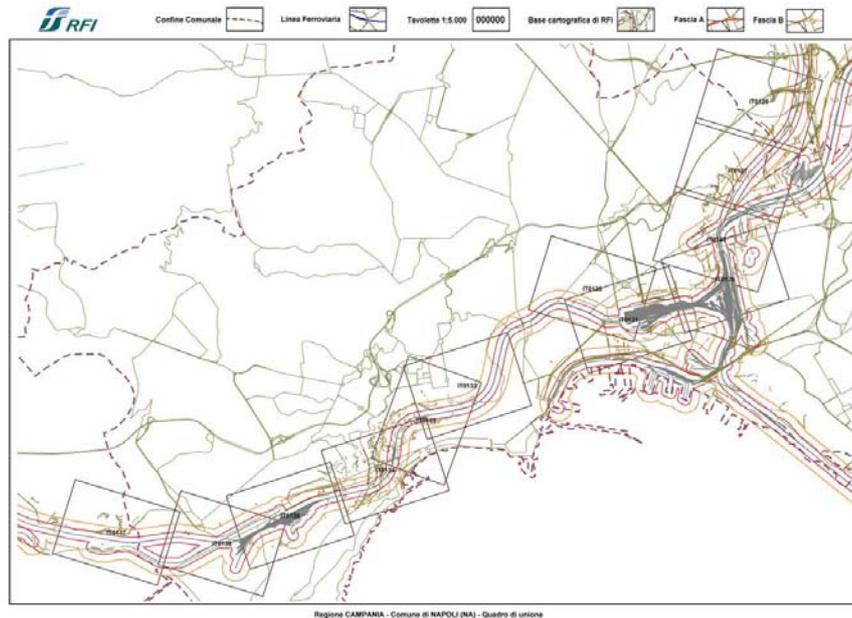


Figura 1: Quadro di unione del territorio comunale



Figura 2: Mappe acustiche L_{den}

La terza serie di tavole (si veda la figura 4) evidenzia infine, mediante la colorazione delle ortofoto del territorio indagato, la rappresentazione delle aree stimate ai sensi del DM Ambiente 29.11.00, considerando la situazione peggiore risultante dallo scenario diurno (6.00-22.00) e notturno (22.00-6.00).

Per la redazione delle suddette tavole è stata adottata la scala di rappresentazione 1:5000.

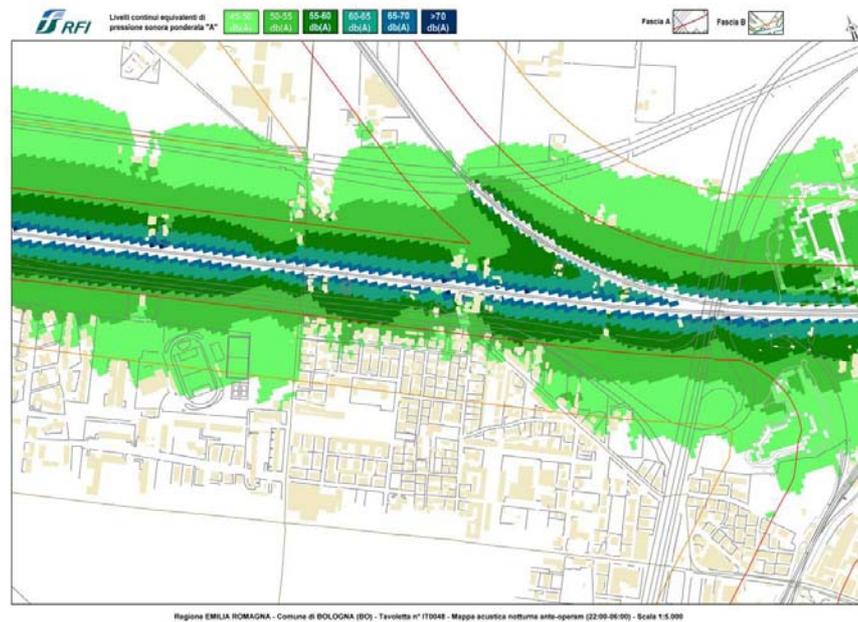


Figura 3: Mappe acustiche L_{night}

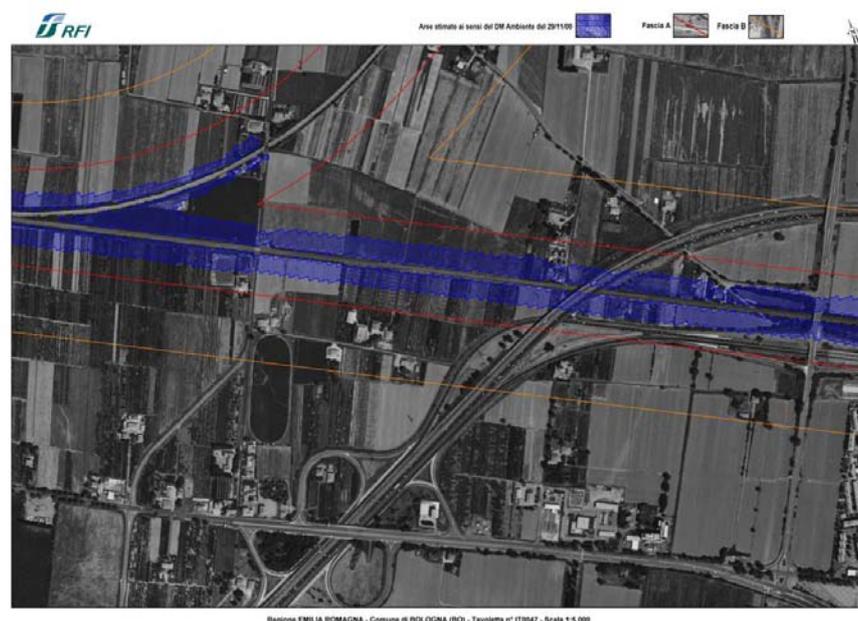


Figura 4: Aree stimate ai sensi del DM Ambiente 29/11/00

Reporting Questionnaire v. 5.0

I dati richiesti nell'allegato 6 del D.Lgs. 194/05, per le infrastrutture ferroviarie, sono riportati, su indicazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, nel Reporting Questionnaire v. 5.0, redatto dalla AEA Technology su incarico della European Environment Agency.

In particolare sono stati compilati i seguenti “form”:

- “Contact on Questionnaire”, comprendente l'indirizzo del gestore d'infrastruttura ed i dati delle persone di riferimento;
- “0.1 coord”, contenente il sistema di coordinate geografiche per la georeferenziazione dei confini degli agglomerati, degli assi ferroviari principali e delle curve isofoniche;
- “0.2 meta”, contenente informazioni sull'origine dei dati di input e sui database utilizzati per la valutazione dei livelli sonori;
- “0.3 comp”, contenente informazioni sul metodo di calcolo utilizzato;
- “0.4 limitvalues”, contenente informazioni sui valori limite di rumore previsti dalla normativa nazionale in vigore;
- “1.1 Agglo”, contenente informazioni sui singoli agglomerati;
- “1.5a Agglo”, contenente, per ogni agglomerato, il numero stimato di persone che occupano edifici abitativi esposti al rumore ferroviario espresso in termini di L_{den} ;
- “1.5b Agglo”, contenente, per ogni agglomerato, il numero stimato di persone che occupano edifici abitativi dotati di una facciata silenziosa rispetto al livello L_{den} ;
- “1.5c Agglo”, contenente le stesse informazioni del form 1.5a;
- “1.6a Agglo”, contenente, per ogni agglomerato, il numero stimato di persone che occupano edifici abitativi esposti al rumore ferroviario espresso in termini di L_{night} ;
- “1.6b Agglo”, contenente, per ogni agglomerato, il numero stimato di persone che occupano edifici abitativi dotati di una facciata silenziosa rispetto al livello L_{night} ;
- “1.6c Agglo”, contenente le stesse informazioni del form 1.6a;
- “2.1 Rail”, contenente la descrizione generale dei singoli assi ferroviari principali su cui transitano più di 60.000 convogli all'anno e compresi negli agglomerati con più di 250.000 abitanti;
- “2.2 Rail”, contenente, per il singolo asse ferroviario considerato, la caratterizzazione del territorio circostante;
- “2.3a Rail”, contenente, per il singolo asse ferroviario considerato, informazioni sui piani di controllo del rumore già definiti e sulle misure antirumore già realizzate;
- “2.7 Rail”, contenente, per il singolo asse ferroviario considerato, i valori stimati dell'area totale (in km^2), del numero totale di edifici abitativi (in centinaia), del numero totale di persone (in centinaia) esposti a valori di L_{den} maggiori di 55 dB(A), 65 dB(A) e 75 dB(A).

Mappe Georeferenziate

Le mappe acustiche georeferenziate, in formato shape file, rappresentano le geometrie in coordinate geografiche WGS84 dei confini degli agglomerati, degli assi ferroviari principali con più di 60.000 convogli all'anno, 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 delle curve isofoniche L_{night} riferite ai valori di 45 dB(A), 50 dB(A), 55 dB(A), 60 dB(A), 65 dB(A) e 70 dB(A).

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:

- regione di appartenenza dell'agglomerato;
- provincia di appartenenza dell'agglomerato;
- comuni compresi nell'agglomerato;
- nome dell'agglomerato;
- codice numerico adottato per l'agglomerato;
- popolazione residente totale nell'agglomerato;
- superficie totale in km² dell'agglomerato;
- superficie totale in m² delle abitazioni comprese nell'agglomerato, occupate da residenti.

Per gli assi ferroviari principali sono elencati i seguenti attributi:

- lunghezza in metri dell'asse principale;
- descrizione dell'asse principale in funzione delle località di inizio e fine;
- codice RFI dell'asse;
- codice dell'asse secondo le indicazioni del questionario;
- denominazione della linea ferroviaria di cui fa parte l'asse;
- numero totale di convogli circolati nell'anno solare 2005;
- campo NOTE.

Per le curve isofoniche L_{den} e L_{night} , è riportato un solo campo che indica il corrispondente valore numerico.

Livelli Acustici Georeferenzati

Al fine di consentire la redazione delle mappe acustiche strategiche previste all'articolo 3, comma 1 del D.Lgs. 194/05, sono forniti, in file MS-Access, i livelli acustici georeferenzati, in termini di L_{den} ed L_{night} , valutati nei vertici del reticolo di calcolo a maglia quadrata di larghezza pari a 10 metri, alla quota di 4 metri sul piano di campagna.

8. 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.

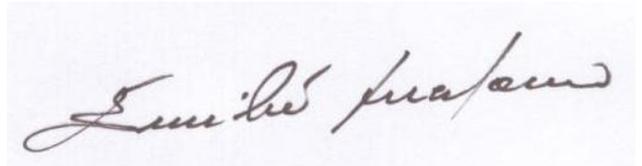
Il modello "RFI-INAC" è stato messo a confronto con il metodo di calcolo ufficiale dei Paesi Bassi pubblicato in «Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996» e indicato nel punto 2.1, lettera d) dell'allegato 2 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.

Il modello di simulazione "RFI-INAC" è stato alimentato con i dati cartografici e di traffico 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.

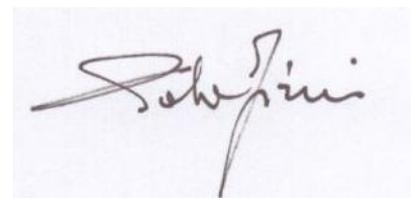
La mappatura acustica è stata effettuata per uno sviluppo complessivo di circa 270 km di infrastruttura ferroviaria, corrispondente alle 74 tratte caratterizzate da volumi di traffico maggiori di 60.000 convogli all'anno e comprese negli agglomerati con più di 250.000 abitanti.

Roma, dicembre 2006

Redatto da: Ing. Emilio Lucadamo



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



ALLEGATO “Analisi comparativa tra il modello RFI-INAC e 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”

A1. Premessa

A1.1 Scopo del documento

L'obiettivo della direttiva 2002/49/CE, relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale, è quello di definire un approccio comune a tutti gli stati membri della Comunità Europea inteso ad evitare, prevenire o ridurre i disturbi e gli effetti dannosi alla salute causati dall'esposizione al rumore ambientale.

La direttiva indica le seguenti azioni da implementare:

- determinare l'esposizione al rumore ambientale (noise mapping) attraverso metodi di valutazione, basati su simulazione numerica, comuni agli stati membri;
- adottare piani di azione, basati sui risultati del noise mapping, allo scopo di prevenire e ridurre il rumore ambientale.

In accordo con il primo punto, uno degli aspetti salienti della direttiva è lo sviluppo di accurate metodologie di calcolo del rumore ambientale, con particolare riguardo al rumore prodotto da:

- strade;
- ferrovie;
- aeroporti;
- impianti industriali.

Per quanto riguarda il rumore generato da infrastrutture ferroviarie, la direttiva raccomanda, nel punto 2.2 dell'allegato II, il metodo di calcolo ufficiale dei Paesi Bassi pubblicato in «Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996».

Il presente documento riporta i risultati di uno studio comparativo tra il suddetto metodo di calcolo e il modello "RFI-INAC", sviluppato da RFI per adempiere agli obblighi imposti dalla Legge Quadro sull'inquinamento acustico n.447 del 26 ottobre 1995 e dal Decreto attuativo del Ministero dell'Ambiente del 29 novembre 2000.

In particolare, mediante il modello "RFI-INAC" sono state eseguite le seguenti attività:

- è stata redatta e trasmessa, in data 26 luglio 2002, al Ministero dell'Ambiente, alle Regioni e ai Comuni competenti, la mappatura acustica della rete ferroviaria italiana (oltre 17.000 km di infrastruttura);

- è stato redatto e trasmesso, in data 22 dicembre 2003, al Ministero dell'Ambiente, alle Regioni e ai Comuni competenti, il piano degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore.

Tale piano è stato approvato, limitatamente agli interventi dei primi quattro anni, dalla Conferenza Unificata Stato-Regioni nell'intesa espressa in data 1 luglio 2004.

A1.2 Struttura del documento

Il capitolo A2 riporta la descrizione delle caratteristiche del metodo di calcolo ufficiale dei Paesi Bassi, per brevità denominato nel seguito "SRM II".

Il capitolo A3 riporta la descrizione delle caratteristiche del modello "RFI-INAC".

Il capitolo A4 mette in evidenza le analogie e le differenze tra i due metodi.

Il capitolo A5 riporta casi di test, in cui i risultati dei due metodi vengono confrontati tra loro e con misure sperimentali.

A2. Descrizione del modello "SRM II"

A2.1 Caratteristiche generali

Il modello "SRM II" è un modello di calcolo del livello continuo equivalente di pressione sonora relativamente al rumore causato dal traffico ferroviario. È un modello in banda di ottava in cui il fenomeno dell'emissione è trattato separatamente da quello della propagazione.

Le caratteristiche principali del modello sono:

- l'emissione è attribuita a due sorgenti lineari (a 0 e 0.5 metri di altezza sul piano del ferro) per treni non ad alta velocità e su quattro sorgenti lineari (a 0.5, 2, 4 e 5 metri di altezza sul piano del ferro) per treni ad alta velocità.
- L'emissione delle linee è calcolata sulla base di una banca dati ricavata da misure sperimentali (eseguite sulla rete ferroviaria olandese) e risulta funzione:
 - della categoria del treno,
 - della velocità media per categoria,
 - del numero di treni,
 - della condizione di transito (in frenatura o in marcia normale),
 - della categoria costruttiva della binario e del numero di giunzioni di rotaia.
- Le sorgenti lineari sono suddivise in segmenti (trattate come sorgenti puntiformi) che sottendono un angolo di non più di 5 gradi al ricettore.
- La propagazione dalla sorgente al ricettore tiene conto (analogamente al modello ISO9613) di:
 - attenuazione per divergenza geometrica;
 - assorbimento atmosferico;
 - effetto del ground;
 - effetto della presenza di mascheramenti (diffrazione);
 - effetto di riflessioni multiple.

A2.2 Modello di emissione

A2.2.1 Categorie dei treni

Per determinare l'emissione i treni sono stati raggruppati in categorie principalmente in funzione del sistema di propulsione e del sistema di frenatura.

Le categorie sono illustrate in Tabella 1. Per una completa descrizione delle caratteristiche delle diverse categorie si rimanda ad [1].

Categoria 1 – Treni passeggeri con freni a ceppi
Categoria 2 – Treni passeggeri con treni a disco e a ceppi
Categoria 3 – Treni passeggeri con freni a disco
Categoria 4 – Treni merci con freni a ceppi
Categoria 5 – Treni diesel con freni a ceppi
Categoria 6 – Treni diesel con freni a disco
Categoria 7 - Treni comprensoriali e tranvie rapide con freni a disco
Categoria 8 - Treni interurbani e treni lenti con freni a disco
Categoria 9 - Treni ad alta velocità con freni a disco e a ceppi

Tabella 1 – Categorie dei treni

A2.2.2 Categorie costruttive del binario

L'emissione è valutata in base alle tipologie costruttive del binario riportate in Tabella 2.

Categoria 1	Railway tracks with single block or double block (concrete) sleepers, in ballast bed. [Binari ferroviari con traverse di cemento monoblocco o biblocco in letto di pietrisco]
Categoria 2	Railway tracks with wooden or zigzag concrete sleepers, in ballast bed. [Binari ferroviari con traverse di legno o di cemento a zigzag, in letto di pietrisco]
Categoria 3	Railway tracks in ballast bed with non-welded tracks, tracks with joints or switches. [Binari ferroviari non in lunga rotaia saldata, in letto di pietrisco, binari con giunzioni o scambi]
Categoria 4	Railway tracks with blocks. [Binari ferroviari con blocchi]
Categoria 5	Railway tracks with blocks and ballast bed. [Binari ferroviari con blocchi e in letto di pietrisco]
Categoria 6	Railway tracks with adjustable rail fixation. [Binari ferroviari con fissaggio di rotaia regolabile]
Categoria 7	Railway tracks with adjustable rail fixation and ballast bed. [Binari ferroviari con fissaggio di rotaia regolabile in letto di pietrisco]
Categoria 8	Railway tracks with poured in railway lines. [Binari ferroviari inglobati]
Categoria 9	Railway tracks with level crossing. [Binari ferroviari con passaggi a livello]

Tabella 2 – Categorie costruttive di binario

Oltre alle categorie sopra riportate l'emissione risulta funzione anche della tipologia e della frequenza delle giunzioni (n. di giunzione nell'unità di lunghezza) di rotaia e dei deviatoi.

Cat. 1	Jointless rails (fully welded tracks) with or without jointless switches or crossings [Binario in lunga rotaia saldata con o senza scambi e altri apparecchi del binario inseriti in lunga rotaia saldata]
Cat. 2	Rails with joints (= tracks with joints) or an isolated switch [Binario a giunzione o uno scambio isolato]
Cat. 3	Switches and crossings with joints, 2 per 100 meters [Scambi e altri apparecchi del binario con giunzioni (2 ogni 100 metri)]
Cat. 4	More than 2 switches per 100 meters [Più di due scambi ogni 100 metri]

Tabella 3 – Categorie costruttive di binario in base alla presenza di giunti e deviatoi

A2.2.3 Condizione di transito

Il modello tiene conto della condizione di transito dei treni. In particolare si considerano separatamente ai fini del calcolo dell'emissione i treni che passano in frenatura e quelli che passano in marcia normale.

A2.2.4 Calcolo dell'emissione

Per il calcolo dell'emissione sono richiesti i seguenti dati di input:

- Q_c numero di treni che transitano in condizioni di marcia normale (non in frenatura) per ogni categoria (Tabella 1),
- $Q_{r,c}$ numero di treni che transitano in frenatura per ogni categoria,
- v_c velocità media per categoria dei treni che transitano in condizioni di non frenatura,
- $v_{r,c}$ velocità media per categoria dei treni che passano in condizione di frenatura,
- bb categoria costruttiva di binario (Tabella 2),
- m categoria costruttive di binario in base alla presenza di giunti e deviatoi (Tabella 3).

La legge di calcolo dell'emissione per ogni linea di sorgente e per ogni banda di ottava si riconduce indicativamente ad una somma energetica (somma logaritmica) del seguente tipo (per dettagli e maggiori precisazioni si veda [1]):

$$E_{i,c} = E_{r,i,c} \oplus E_{nr,i,c} \oplus E_{diesel,i,c} \oplus E_{motor,i,c}$$

dove i termini rappresentano nell'ordine:

- il contributo dei treni con transito in condizioni normali,
- il contributo dei treni con transito in frenatura,
- contributo aggiuntivo per motrici diesel,
- contributo del motore.

Ciascun termine della somma è rappresentato da espressioni del tipo seguente:

$$E_{i,c} = a_{i,c} + b_{i,c} \text{Log}(v_c) + 10 \text{Log}(Q_c) + C_{bb,i,m}$$

dove:

$a_{i,c}, b_{i,c}$ sono termini che dipendono dalla categoria di treni e dalla banda di ottava,
 v_c è la velocità media per categoria,
 Q_c è il numero di transiti per ogni categoria,
 $C_{bb,i,m}$ è un termine dipendente dalla tipologia di binario e dalla tipologia di giunzioni (per ogni banda di ottava).

A2.2.5 Roughness (rugosità)

Nel metodo “SRM II” il calcolo è effettuato tenendo conto di un valore medio della roughness, a cui è riferita la banca dati di emissione.

La correzione dell'emissione viene associata (in termini di incremento additivo) al termine $C_{bb,i,m}$ di cui al precedente paragrafo ed è funzione sia della roughness della rotaia che della roughness della ruota. Per maggiori chiarimenti si rimanda a [6].

A2.2.6 Modello di sorgente

La sorgente di rumore è caratterizzata da un certo numero di sorgenti lineari poste a diverse altezze dal piano del ferro.

Per treni appartenenti alle categorie 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ed 8 (treni non ad alta velocità) la sorgente è caratterizzata da due sorgenti lineari poste rispettivamente sul piano del ferro e ad un'altezza di 0.50 metri dal piano del ferro.

Per treni ad alta velocità appartenenti alla categoria 9 l'emissione è distribuita su quattro sorgenti lineari poste rispettivamente ad altezze: 0.50, 2.0, 4.0 e 5.0 metri sul piano del ferro.

Ai fini del calcolo di propagazione le sorgenti lineari sono suddivise in segmenti (source line segment in Figura 1). Ciascun segmento è trattato come una sorgente puntiforme su cui è concentrata l'emissione dell'intero segmento.

La segmentazione della linea è effettuata in modo che tutti i punti di un segmento si trovino nelle stesse condizioni di propagazione. L'angolo di vista non deve superare i 5°.

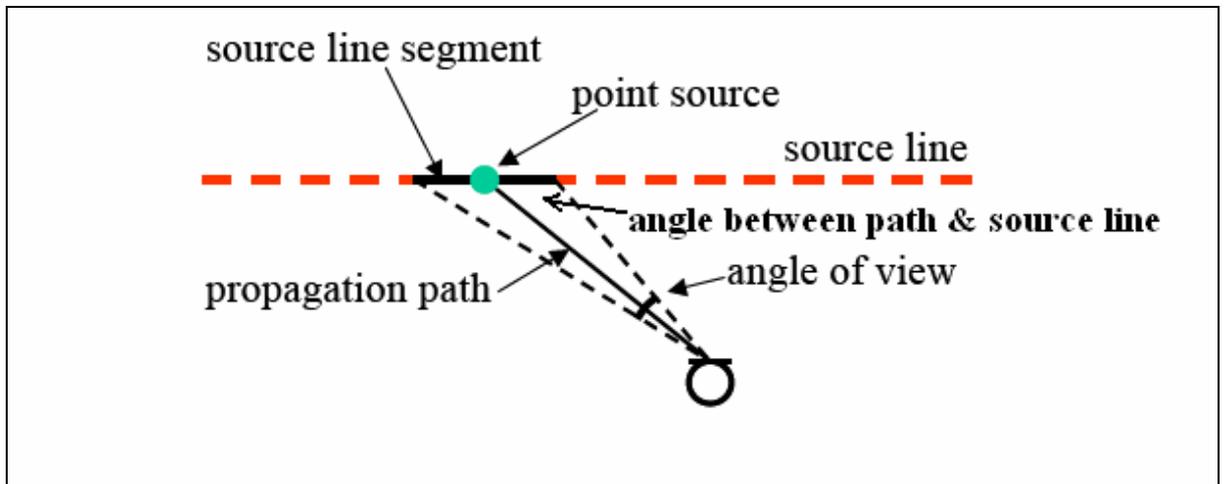


Figura 1 – Descrizione dell'angolo di vista e del segmento di linea rappresentato dalla sorgente puntiforme

A2.3 Modello di propagazione

Il livello sonoro equivalente è calcolato secondo la seguente espressione:

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

dove $\Delta L_{eq,i,j,n}$ specifica il contributo in banda di ottava (indice i) di un settore (indice j) e di un punto sorgente (indice n).

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

$$\Delta L_{eq,i,j,n} = L_E + \Delta L_{GU} - \Delta L_{OD} - \Delta L_{SW} - \Delta L_R - 58.6$$

dove i termini della somma hanno il seguente significato:

- L_E valore di emissione in banda di ottava,
- ΔL_{GU} attenuazione per divergenza geometrica,
- ΔL_{OD} attenuazione per effetti di propagazione,
- ΔL_{SW} attenuazione per effetti di diffrazione,
- ΔL_R effetto delle riflessioni.

A2.3.1 Attenuazione per divergenza geometrica

L'attenuazione per divergenza geometrica è calcolata come segue:

$$\Delta L_{GU} = 10 \text{Log} \left(\frac{\phi \sin \nu}{r} \right)$$

dove:

- ϕ è l'angolo di vista (angle of view) mostrato in Figura 1,
- ν è l'angolo formato dalla line of sight ricevitore-sorgente (propagation path) e la sorgente lineare (Figura 1),
- r è la distanza tra ricevitore e sorgente.

A2.3.2 Direttività della sorgente

La direttività della sorgente lineare sul piano orizzontale è inserita nel termine ΔL_{GU} . La dipendenza dall'angolo di vista è implicita nel termine $\sin \nu$. La sorgente è considerata come un dipolo acustico. La direttività sul piano verticale non viene considerata.

A2.3.3 Attenuazione per effetti di propagazione

L'attenuazione per effetti di propagazione è composta dalla somma dei seguenti termini:

$$\Delta L_{OD} = D_L + D_B + C_M$$

dove:

- D_L attenuazione atmosferica,
- D_B attenuazione per effetto ground,
- C_M fattore di correzione meteorologico.

A2.3.3.1 Attenuazione atmosferica

Il termine di attenuazione atmosferica è calcolato nel modo seguente:

$$D_L = r \delta_{air}$$

dove:

- r è la distanza sorgente ricevitore (m),
- δ_{air} è il coefficiente di assorbimento atmosferico funzione della frequenza.

Il termine δ_{air} è calcolato secondo la seguente tabella 4:

Frequenza	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
δ_{air}	0	0	0.001	0.002	0.004	0.010	0.023	0.058

Tabella 4 – Coefficiente di assorbimento atmosferico

I coefficienti di assorbimento sono stati ricavati dalla normativa ISO-DIN 3891 “Acoustics - Procedure for describing aircraft noise heard on the ground” considerando una temperatura di 10 °C ed una umidità relativa di 80% [4].

A2.3.3.2 Attenuazione per effetto ground

Il calcolo dell'attenuazione per effetto ground si basa sulla suddivisione del propagation path (percorso di propagazione) in tre zone:

- una zona vicino alla sorgente di lunghezza 15 m,
- una zona vicino al ricevitore di lunghezza 70 m,
- una zona intermedia che sussiste qualora la distanza tra sorgente e ricevitore sia maggiore di 85 m.

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 le tre zone il fattore di assorbimento è pari al rapporto tra la lunghezza della sezione di zona con terreno acusticamente non hard e la lunghezza totale della zona.

La descrizione del calcolo dell'attenuazione per effetto ground può essere trovata in [1].

A2.3.3.3 Fattore di correzione meteorologico

Il calcolo della propagazione è effettuato in condizioni di vento a favore (downwind propagation). Per il calcolo in situazioni medie di lungo termine si introduce il fattore di correzione meteorologico (sempre positivo) calcolato come segue:

$$C_M = 3.5 - 35 \frac{h_b + h_v}{r_0}$$

A2.3.4 Attenuazione per mascheramento

Qualora nel propagation path si incontri un ostacolo, nel calcolo del livello di intensità acustica sul ricettore si introduce il fattore di attenuazione per mascheramento ΔL_{sw} .

Il calcolo dell'attenuazione viene effettuato considerando un ostacolo ideale equivalente (barriera sottile) della stessa altezza dell'oggetto mascherante. Qualora più oggetti mascheranti si interpongano sul *propagation path* tra sorgente e ricettore si considera solo l'ostacolo più critico.

Qualora il profilo dell'oggetto schermante devii da quello schematizzato idealmente con la barriera sottile, si introduce il fattore di correzione riportato in Tabella 5.

La formula per il calcolo dell'attenuazione dovuta al mascheramento è calcolata come segue:

$$\Delta L_{sw} = H \cdot F(N_f) - C_p$$

dove:

H è il fattore di *screening performance*,

$F(N_f)$ è una funzione del numero di Fresnel N_f ,

C_p è un fattore di correzione funzione del tipo di profilo dello schermo calcolato secondo quanto riportato in Tabella 5.

Per i dettagli del calcolo si rimanda a [1].

C_p	Object (T = top angle in degrees)
0 dB	<ul style="list-style-type: none"> ▪ thin wall with a vertical angle $\leq 20^\circ$ ▪ Ground elevations where $0^\circ \leq T \leq 70^\circ$ ▪ all ground elevations with thin walls, if the total height is less than twice the wall height ▪ all buildings
2 dB	<ul style="list-style-type: none"> ▪ edge of a filled land site ▪ ground elevation where $70^\circ \leq T \leq 165^\circ$ ▪ all ground elevations with thin walls, if the total height is more than twice the wall height ▪ noise absorbing edge of the railway side of a platform ▪ edge of the platform not facing the railway track ▪ edge of a railway line situated on a viaduct or bridge, except U-type bridge or M-track ▪ noise absorbing edge of a U-type bridge facing the railway line ▪ edge of a U-type bridge not facing the railway line ▪ absorbing edge of a M-track facing the railway line ▪ edge of a M-track not facing the railway line
5 dB	<ul style="list-style-type: none"> ▪ edge (non-absorbing⁴) of the side of a platform facing the railway line ▪ edge (non-absorbing¹) of the side of a platform facing the railway line ▪ U-type bridge ▪ edge (non-absorbing¹) of the side of the M-track facing the railway line

Tabella 5 – Fattore di correzione funzione del profilo dello schermo

A2.3.5 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 ricevente non si considerano le riflessioni che si hanno sulla facciata dell'edificio stesso.

A3. Descrizione del modello “RFI-INAC”

A3.1 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:

- 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 ISO9613 e tiene perciò conto di:
 - attenuazione per divergenza geometrica,
 - assorbimento atmosferico,
 - effetto del round,
 - effetto della presenza di mascheramenti (diffrazione),
 - effetto di riflessioni multiple.

A3.2 Modello di emissione

A3.2.1 Categorie dei treni

Sulla base dell'analisi dei dati acustici in possesso di RFI è stato possibile raggruppare le 30 tipologie commerciali di treni (riportate in Tabella 6) nelle 11 classi di treni omogenei per emissione sonora descritte in Tabella 7. Attraverso misure sperimentali sono stati determinati, per ognuna di tali classi, 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: i primi dati sono stati utilizzati per verificare la congruenza delle nuove misure con i dati già in possesso; i secondi, unitamente ai dati sulla composizione, entità e velocità del traffico, costituiscono invece l'input di caratterizzazione sonora della sorgente per il modello di simulazione. Dalla Tabella 7, in cui si riportano i risultati dell'indagine effettuata, si evidenzia che alcune delle 11 classi di treni omogenei per emissione sonora sono state dedicate a treni che si differenziano per la loro particolare composizione: treni a trazione diesel (Aln668*3 e D445+4), treni EUROSTAR ITALIA (ETR450/460/480/500), treni metropolitani (Treni Alta Frenquenza, Ale724).

00 REGIONALE STRAORD.	10 MERCI RAPIDO	20 LOCOMOTIVA ISOLATA
01 REGIONALE	11 MERCI RAPIDO SPEC.LE	21 CARRI MERCI VUOTI
02 DIRETTO	12 TRENI COMBINATI SPEC.LI	22 CORSETTA PERSONALE
03 ESPRESSO	13 EUROP UNIT CARGO	23 NON CLASSIFICATO
04 METROPOLITANO	14 TRENI EUROPEI COMBINATI	24 EURONOTTE
05 INTERREGIONALE	15 TRENI COMBINATI	25 STRAORDINARIO MILITARE
06 EUROCIITY	16 MERCI RAPIDO VUOTO	26 MERCI RAPIDO INTERN.LE
07 INTERCITY	17 TRADO'TTA	27 MERCI INTERZONALE
08 MERCI DIRETTO	18 MERCI POSTALE	28 MERCI TERMINALE
09 MERCI CELERE	19 INVIO MATERIALE VIAG.	29 EUROSTAR ITALIA

Tabella 6: Tipologie commerciali dei treni circolanti sulla rete ferroviaria italiana e relativi codici

classi acustiche di treni	codici commerciali dei 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	trazione diesel	62.7	30.0	37.6	47.2	57.3	58.7	55.0	51.5	42.5
2 DIR/IR	2,5,22,23,25	66.3	33.4	39.1	51.2	55.5	60.3	62.6	57.1	47.8
3 E/EN	3,24	70.1	37.0	49.3	58.3	63.9	64.2	64.4	61.0	52.0
4 ETR450/460/480	ETR450/460/480	61.5	28.4	32.7	41.4	45.1	49.9	59.2	55.0	44.0
5 ETR 500	ETR 500	62.5	29.7	33.7	44.2	48.6	53.7	60.3	54.3	43.7
6 IC	6,7	66.9	33.3	37.6	48.5	52.7	59.4	64.4	58.2	48.1
7 REG	0,1	64.4	33.5	39.7	51.0	55.5	58.0	59.9	55.8	47.7
8 REG-MET	TAF	60.2	28.4	37.0	46.4	52.3	54.6	54.2	52.0	45.8
9 MERCI	8-18,21,26-28	75.6	40.2	50.2	60.3	68.5	70.5	69.6	65.6	56.0
10 D445	trazione diesel	69.6	35.5	47.9	58.7	63.6	65.4	62.1	57.7	47.2
11 Ale 724	4	66.5	35.3	44.5	54.5	58.8	61.6	60.3	57.6	49.4

Tabella 7: 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

A3.2.2 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.

A3.2.3 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 ΔL_w riportato nella Tabella 8.

	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	7.6	8.4	10.0	7.1	5.1	3.0	2.8	2.6

Tabella 8 – Correzione dell'emissione per presenza di punti singolari
 (dB per metro di linea)

A3.2.4 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.

A3.3 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,
- 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,
- $A_{rifl,i,j}$ effetto delle riflessioni multiple.

A3.3.1 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 φ e ϑ sono gli angoli riportati in Figura 2.



Figura 2 – Angoli della direzione sorgente ricevitore per il calcolo della direttività

A3.3.2 Attenuazione per divergenza geometrica

In accordo con il codice ISO9613 [2] 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

A3.3.3 Attenuazione atmosferica

L'attenuazione atmosferica è calcolata in funzione della temperatura dell'aria e della umidità relativa per ogni banda di ottava secondo la formulazione riportata in [3].

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.

A3.3.4 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 ricettore di larghezza $30h_r$, dove h_r è l'altezza del ricettore,
- una fascia intermedia che sussiste qualora la distanza tra sorgente e ricettore sia maggiore della somma tra la larghezza delle fasce adiacenti alla sorgente e al ricettore.

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.

La descrizione del calcolo dell'attenuazione per effetto ground può essere trovata in [2].

A3.3.5 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 ISO9613 tratta sia il caso di singola diffrazione, in cui un solo bordo di diffrazione si interpone alla direttrice sorgente-ricevitore (Figura 3), sia il caso di doppia diffrazione, in cui due bordi di diffrazione si interpongono sulla linea (Figura 4).

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

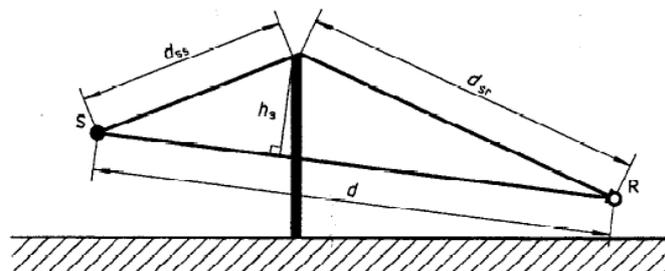


Figura 3 – Geometria della diffrazione singola

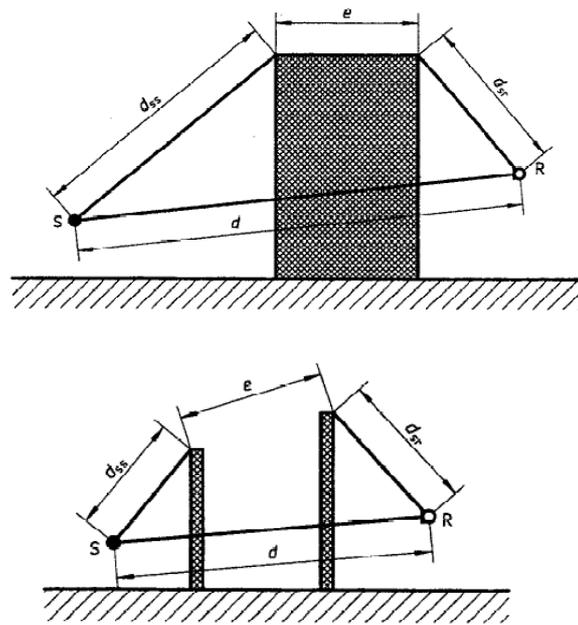


Figura 4 – Geometria della diffrazione doppia

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 4),

λ è la lunghezza d'onda,

z è la differenza tra il cammino diffratto e quello diretto,

K_{met} è il fattore di correzione meteorologico [2].

A3.3.6 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.

A4. Analogie e differenze tra il modello "RFI-INAC" ed il modello "SRM II"

A4.1 Modello di emissione

Il modello "SRM II" utilizza per l'emissione una banca dati ottenuta da misurazioni effettuate su materiale rotabile in esercizio sulla rete ferroviaria olandese ed è strettamente associato alla tipologia ed allo stato di manutenzione dei rotabili e dei binari dell'infrastruttura ferroviaria olandese.

La banca dati contiene un set di parametri mediante i quali viene calcolata l'emissione dei singoli transiti in funzione dei seguenti dati di input:

- tipologia del convoglio (selezionata tra le categorie riportate in tabella 2),
- tipologia costruttiva del binario su cui si ha il transito (selezionata tra le tipologie riportate in tabella 2),
- frequenza delle eventuali giunzioni presenti sulle rotaie (n. di giunzioni ogni 100 metri di binario),
- condizione di transito del treno (in marcia normale o in frenatura),
- velocità del transito.

Analogamente al modello "SRM II", per il calcolo dell'emissione, il modello "RFI-INAC" utilizza una banca dati ottenuta da una campagna di misurazioni effettuate su materiale rotabile in esercizio e quindi strettamente associata alla tipologia ed allo stato di manutenzione del materiale rotabile e dei binari della rete ferroviaria italiana.

L'emissione viene calcolata in funzione dei seguenti dati di input:

- tipologia del convoglio (selezionata tra le categorie, tipiche dei treni in esercizio sulla rete ferroviaria italiana, riportate nelle tabelle 6 e 7),
- presenza di deviatori (tabella 8),
- presenza di ponti in ferro (tabella 8),
- velocità del transito.

Nel modello "RFI-INAC" non si tiene conto della tipologia costruttiva dei binari in quanto essa è generalmente omogenea su tutto il territorio nazionale (ballast e traverse in cemento).

Analogamente al modello olandese, l'emissione viene calcolata dal modello "RFI-INAC" sulla base di una banca dati costruita su misure effettuate a campione su diversi siti [7], rappresentativa di una condizione media di rugosità del materiale rotabile e dell'infrastruttura ferroviaria.

Il dato relativo alle condizioni di transito (frenatura e marcia normale), richiesto in input dal modello olandese, è assente nel modello “RFI-INAC”, in quanto non è disponibile per effettuare una mappatura acustica su larga scala, per la quale viene utilizzato il parametro della velocità media sulla tratta.

A4.2 Modello di sorgente

Il modello “SRM II” distribuisce l'emissione su diverse sorgenti lineari posizionate nel seguente modo:

- per treni non ad alta velocità l'emissione è ripartita tra due sorgenti lineari poste rispettivamente sul piano del ferro e ad un'altezza di 0.50 metri da esso,
- per treni ad alta velocità l'emissione è distribuita su quattro sorgenti lineari poste rispettivamente ad altezze 0.50, 2.0, 4.0 e 5.0 metri sul piano del ferro.

Il modello “RFI-INAC” distribuisce l'emissione su una unica sorgente lineare posta a 0.80 metri dal piano del ferro. Tale assunzione è certamente cautelativa per le attuali condizioni di percorrenza delle tratte ferroviarie considerate nel presente studio, caratterizzate da velocità di esercizio contenute nel campo di valori per il quale la sorgente primaria del rumore ferroviario si localizza nella zona di contatto ruota-rotaia (rumore di rotolamento).

A4.3 Modello di propagazione

Per la simulazione della propagazione acustica, entrambi i modelli adottano metodi a raggi, basati sull'acustica geometrica, che prevedono:

- la suddivisione delle sorgenti lineari in una successione di segmenti,
- il posizionamento, al centro di ogni segmento, di una sorgente puntiforme nella quale è concentrata l'emissione associata a tutto il segmento,
- l'individuazione, per ogni sorgente, dei percorsi di propagazione (raggi) tra la sorgente stessa e il ricettore,
- il calcolo del livello di rumore al ricettore come somma dei contributi di rumore portati da ciascun raggio per ogni banda di ottava.

Il contributo di ogni raggio per entrambi i metodi viene calcolato sottraendo all'emissione della sorgente, pesata per il coefficiente di direttività nella direzione del raggio, tutti i contributi di attenuazione che si riscontrano sul percorso di propagazione.

$$\text{ContributoRaggio} = \text{EmissioneSorgente} + \text{DirettivitàSorgente} - \sum \text{Attenuazioni}$$

Entrambi i metodi, come già detto, considerano le stesse tipologie di attenuazione:

- attenuazione per divergenza geometrica,
- assorbimento atmosferico,
- effetto del ground,
- effetto della presenza di mascheramenti (diffrazione),
- correzione meteorologica.

Nei successivi paragrafi vengono messe a confronto le diverse formulazioni usate nei due metodi, per il calcolo della direttività della sorgente e delle diverse tipologie di attenuazione.

A4.3.1 Direttività della sorgente

Il metodo “RFI-INAC” introduce nel calcolo sia la direttività sul piano orizzontale sia la direttività sul piano verticale. Le formulazioni adottate sono quelle del modello MITHRA sviluppato dal CSTB francese per il rumore ferroviario. In particolare la direttività sul piano verticale è stata introdotta per tener conto del mascheramento che la struttura del treno produce sulle sorgenti di rumore localizzate in corrispondenza dell'asse della ruota e sul punto di contatto ruota rotaia.

Il metodo “SRM II” considera solo la direttività sul piano orizzontale e trascura la direttività verticale. La direttività orizzontale non compare esplicitamente nella formulazione ma risulta inclusa nel termine relativo all'attenuazione per divergenza geometrica ΔL_{GV} (come descritto nei paragrafi A2.3.1 e A2.3.2). Il coefficiente di direttività utilizzato è equivalente a quello del dipolo acustico.

In Figura 5 si riporta il confronto tra i due coefficienti di direttività adottati nei due metodi.

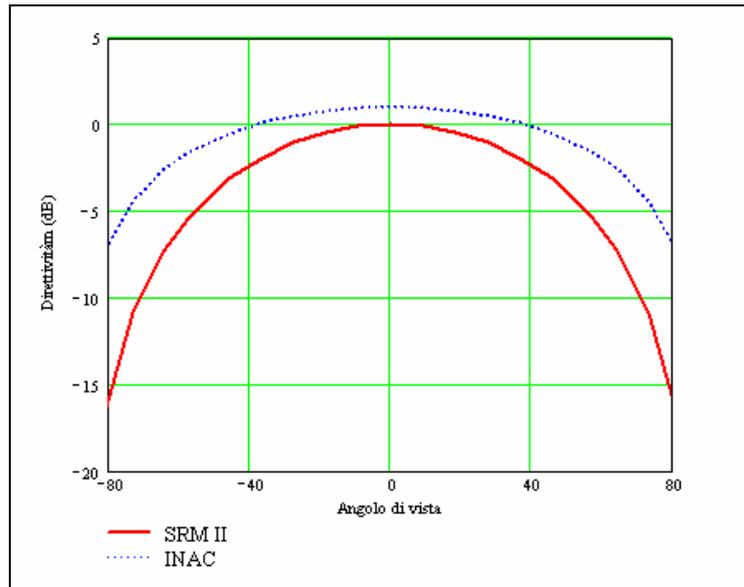


Figura 5 – Confronto tra i coefficienti di direttività sul piano orizzontale adottati nei modelli “RFI-INAC” ed “SRM II”

A4.3.2 Attenuazione per divergenza geometrica

L'attenuazione per divergenza geometrica è trattata in modo identico nei due metodi mediante la formulazione:

$$A = 10 \cdot \text{Log} (4 \cdot \pi \cdot d^2)$$

Tale formulazione non risulta esplicita nel metodo “SRM II” ma è inclusa nel termine ΔL_{GU} insieme al fattore di direttività orizzontale.

A4.3.3 Attenuazione atmosferica

In entrambi i metodi l'attenuazione per assorbimento atmosferico viene calcolata per ogni banda di ottava come:

$$A_{atm}(\lambda) = r \cdot \delta_{air}(\lambda)$$

Cambia tuttavia il metodo di calcolo del coefficiente di assorbimento atmosferico δ_{air} .

Il metodo “RFI-INAC” adotta la formulazione ISO9613 – 1 [3] ed il calcolo viene eseguito considerando una temperatura di 15°C ed una umidità relativa del 60%.

Il metodo “SRM II” adotta la formulazione ISO-DIN 3891 “Acoustics - Procedure for describing aircraft noise heard on the ground” considerando una temperatura di 10 °C ed una umidità relativa di 80% [4].

I valori dei coefficiente di assorbimento per banda di ottava sono riportati in Tabella 9:

	62.5 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
SRM II	0	0	1	2	4	10	23	58
RFI-INAC	0.1	0.4	1.2	2.3	4.1	9.5	30.6	109.8

Tabella 9 – Coefficienti di assorbimento per km

I valori sono molto simili alle basse e medie frequenze e soprattutto alle frequenze dove si ha il picco dello spettro di emissione del rumore ferroviario (500-1000Hz), mentre si discostano per le frequenze più elevate.

I valori utilizzati dal metodo “RFI-INAC” sono stati calcolati nelle condizioni meteorologiche medie della realtà italiana e quindi, per tale ambito, risultano più adeguati.

Si sottolinea che nel documento AR-INTERIM-CM [7] commissionato dalla Commissione Europea – DG Environment, dove si suggeriscono modifiche al metodo olandese per il suo utilizzo per la mappatura strategica ai sensi della direttiva 2002/49/EC, si consiglia di utilizzare i coefficienti del metodo ISO9613 calcolati nelle reali condizioni di temperatura ed umidità in luogo dei coefficienti del metodo “SRM II”.

A4.3.4 Attenuazione per effetto ground

Le formulazioni dell’attenuazione per effetto ground sono molto simili.

Per entrambi i metodi l’attenuazione risulta dalla somma di tre termini:

- un termine rappresentativo della tipologia di terreno nella zona della sorgente;
- un termine rappresentativo della tipologia di terreno nella zona del ricettore;
- un termine rappresentativo della tipologia di terreno nella zona intermedia.

Il terreno può assumere due caratteristiche:

- acusticamente riflettente (hard ground),
- acusticamente assorbente (porous ground).

In Figura 6 ed in Figura 7 si riportano gli andamenti dell'attenuazione per effetto ground fornite dai due metodi in funzione della distanza dalla sorgente. Nei grafici è stato riportato il valore dell'attenuazione mediato sulle bande di ottava. In Figura 6 è riportato il caso di porous ground ed in Figura 7 il caso di hard ground.

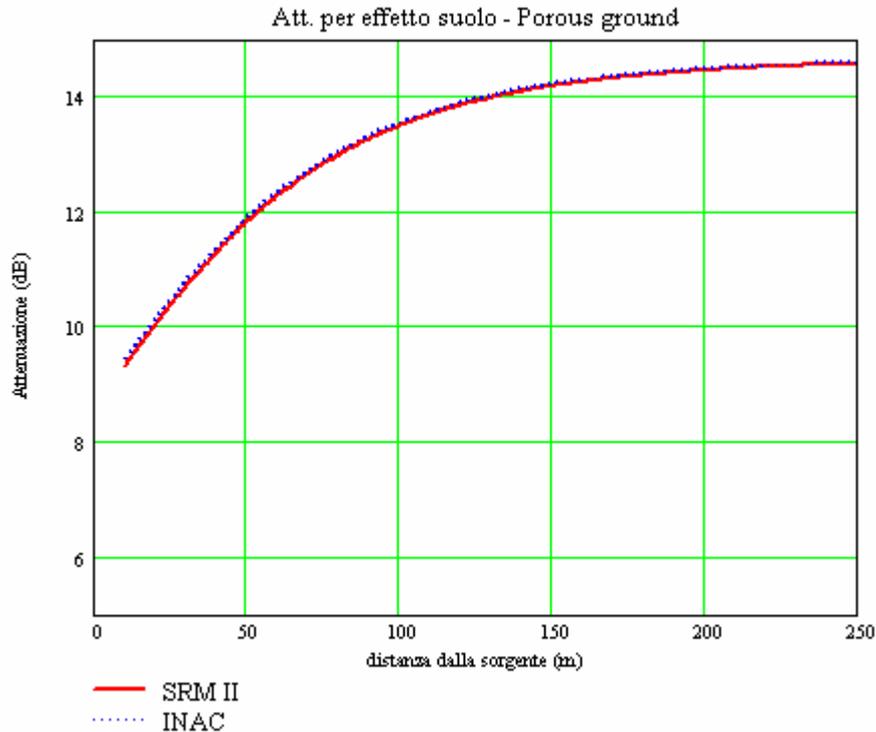


Figura 6 – Confronto tra le attenuazioni per effetto ground nei due metodi – Valori mediati sulle bande di ottava – Porous ground

Come si vede in Figura 6, in caso di terreno di tipo assorbente le formulazioni sono identiche. L'unica differenza riscontrata è in corrispondenza di 63.5 Hz dove il modello "RFI-INAC" prevede un'attenuazione di 3 dB mentre il modello "SRM II" prevede un'attenuazione di 6 dB.

In caso di terreno di tipo hard, lo scarto tra i due metodi si mantiene mediamente inferiore a 1 dB. Il metodo "RFI-INAC" è comunque più conservativo poiché fornisce un'attenuazione minore.

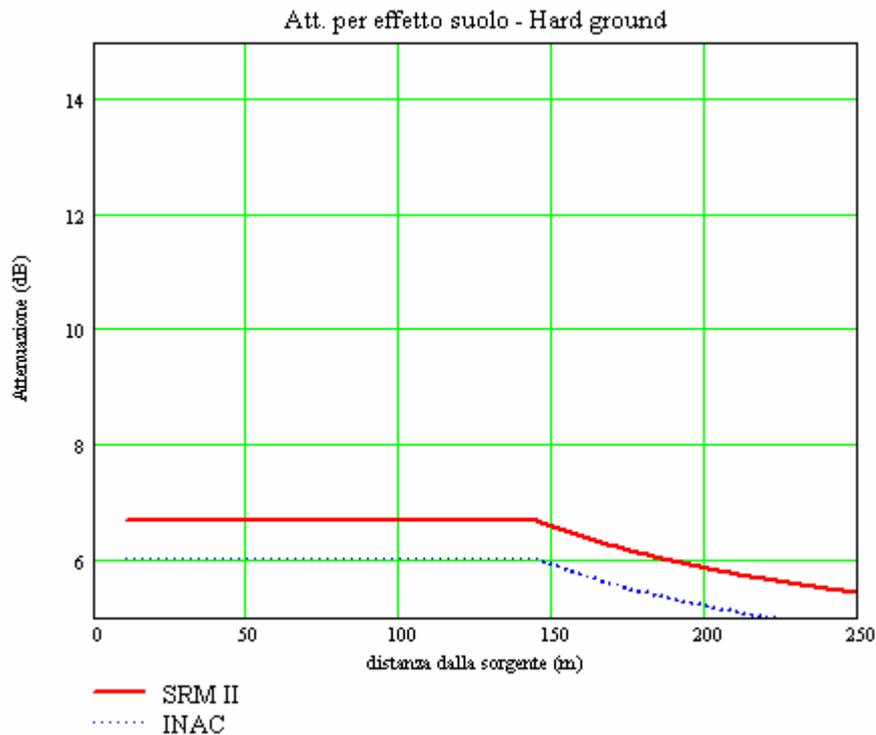


Figura 7 – Confronto tra le attenuazioni per effetto ground nei due metodi – Valori mediati sulle bande di ottava – Hard ground

A4.3.5 Attenuazione per mascheramento

Nel calcolo dell'attenuazione per ostacoli le formulazioni dei due metodi sono diverse. Il metodo "RFI-INAC" si basa sulla formulazione ISO9613. Il metodo "SRM II" si basa sulla teoria di Maekawa (come riportato in [4]).

Il metodo "RFI-INAC" tratta il caso di presenza di diffrazione doppia (ovvero il caso in cui due ostacoli intercettano la linea di vista) mentre il metodo "SRM II", in caso di diffrazione multipla si riconduce al caso di una diffrazione singola equivalente considerando solo l'ostacolo più critico.

Per confrontare i due diversi approcci è stato calcolato il valore dell'attenuazione nel caso di test riportato in Figura 8.

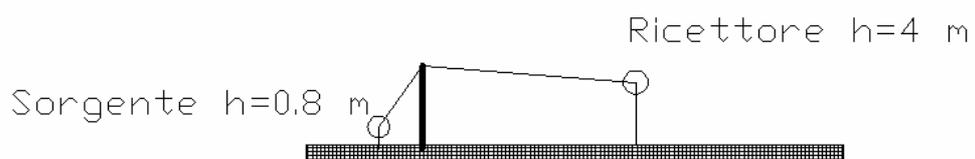


Figura 8 – Geometria del caso di test

Le caratteristiche geometriche del caso di test scelto sono di seguito riportate:

- altezza sorgente 0.8 metri,
- altezza ricettore 4 metri,
- distanza ricettore dalla sorgente 25 metri,
- distanza ostacolo dalla sorgente 3.5 metri,
- altezza dell'ostacolo: variabile da 3 ad 8 metri,

In Figura 9 si riportano i risultati ottenuti con i due metodi. Il valore dell'attenuazione riportato nel grafico è mediato sulle bande di ottava.

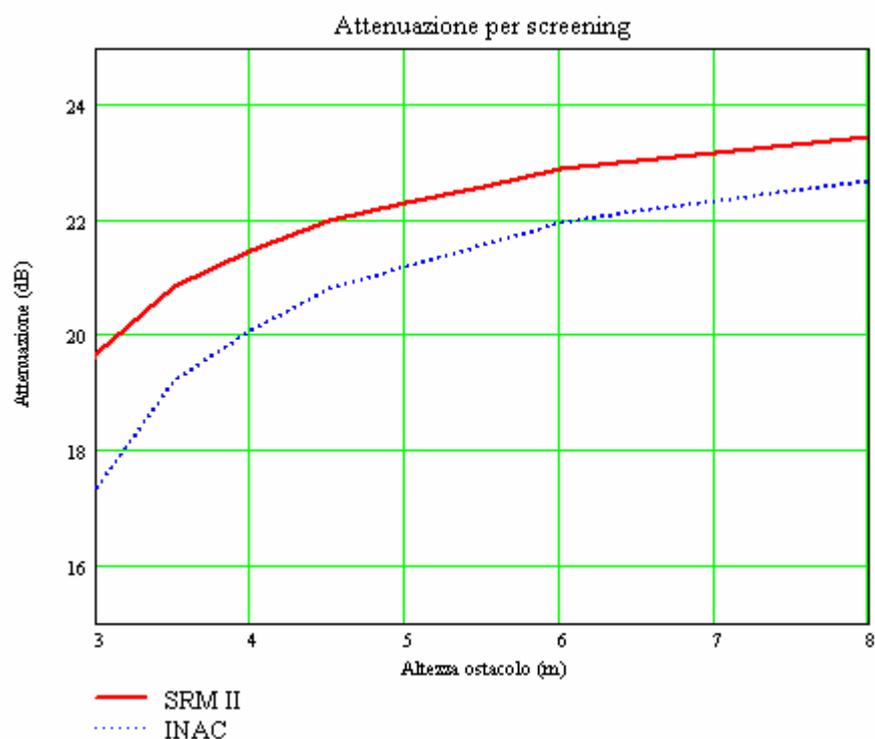


Figura 9 – Attenuazione per screening in funzione dell'altezza dell'ostacolo

Dagli andamenti riportati, si nota uno scostamento medio di circa 1-1.5 dB tra metodo “RFI-INAC” e metodo “SRM II” al variare dell'altezza dell'ostacolo. Il metodo “RFI-INAC” è comunque più conservativo poiché fornisce un'attenuazione minore.

A4.3.6 Correzione meteorologica

La formulazione relativa alla correzione meteorologica è la stessa per i due metodi ed è data dall'espressione:

$$C_M = C_0 \left(1 - 10 \frac{h_b + h_v}{r_0} \right)$$

Nel metodo ISO9613, adottato nel modello “RFI-INAC”, il coefficiente C_0 è lasciato libero. Nel metodo “SRM II” il coefficiente C_0 è scelto pari a 3.5 dB che corrisponde ad avere una percentuale di tempo in cui sussistono condizioni meteo favorevoli alla propagazione pari approssimativamente al 45% [4].

A4.3.7 Riflessioni

Le riflessioni sulle pareti degli edifici vengono trattate allo stesso modo dal metodo “RFI-INAC” e dal metodo “SRM II”. Per entrambi i metodi, infatti, si verificano le seguenti condizioni:

- 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.

Come previsto in [8], nella mappatura acustica, il calcolo del livello di rumore su un edificio ricettore viene effettuato escludendo le riflessioni prodotte dalla facciata dell'edificio.

A5. Confronto tra modello "RFI-INAC" e modello di calcolo "SRM II" su casi di test

A5.1 Set up dei casi di test

Allo scopo di valutare l'efficacia dei due metodi, "RFI-INAC" ed "SRM II", nel calcolo dei livelli di rumore generati dal traffico ferroviario nella realtà italiana, sono stati confrontati i risultati delle simulazioni prodotte con i due diversi metodi, con i risultati della campagna di misurazione sperimentale, effettuata tra il 2001 ed il 2002, per la redazione della mappatura acustica e del piano di risanamento ai sensi del DM Ambiente 29/11/2000.

Il confronto con le misure sperimentali è volto soprattutto a comparare i due metodi nella stima dell'emissione sonora generata dall'insieme di infrastruttura e materiale rotabile italiani, visto che l'analisi teorica ha dimostrato una sostanziale equivalenza tra i due metodi per quanto riguarda il modello di propagazione del rumore.

A tale fine sono stati considerati siti di misura caratterizzati da una infrastruttura rettilinea e un terreno pianeggiante, come rappresentato nell'esempio di Figura 10. La tipologia di terreno è di tipo "porous ground".

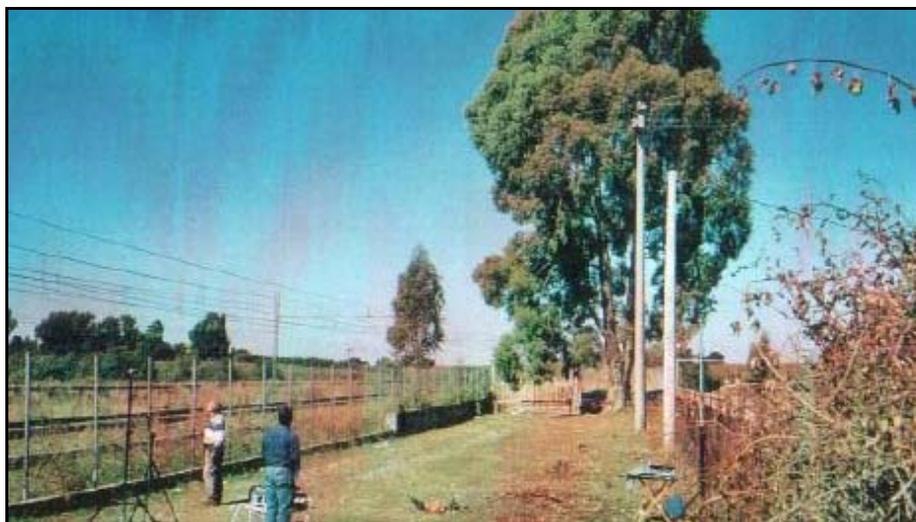


Figura 10 – Esempio di sito di misura

Allo scopo di rappresentare la realtà media italiana, sono state considerate misure effettuate su siti in prossimità di diverse linee ferroviarie:

- Linea 1 Roma-Orte-Firenze (linea direttissima)
- Linea 2 Roma-Orte-Firenze (linea lenta)
- Linea 3 Roma-Civitavecchia- Livorno-Pisa

- Linea 4 Roma-Formia-Napoli
- Linea 5 Avezzano-Roccasecca

Per la descrizione di dettaglio dei siti di misura si rimanda al documento “Stima dei livelli di misura ai sensi del DM Ambiente 29/11/00 – Rapporto delle misure” [7].

In ognuno dei siti di misura è stato misurato il livello equivalente di pressione sonora in due punti di misura:

- postazione #1: microfono posto a 7.5 metri dal binario più vicino e ad un'altezza compresa tra 1.2 e 1.8 metri dal piano del ferro.
- postazione #2: microfono posto a 25 metri dal binario più vicino e ad un'altezza compresa tra 3 e 3.5 metri dal piano del ferro.

In ciascun sito sono stati misurati per ogni transito registrato nel periodo di misura (24 ore):

- la time history del livello sonoro,
- il valore del SEL,
- il tempo di transito,
- la tipologia del treno,
- la velocità del convoglio.

Ogni transito misurato, infine, è stato riprodotto in simulazione sia con il modello “RFI-INAC” che con il modello “SRM II” (implementato nel software commerciale “Soundplan”) e sono stati valutati gli scarti dei valori di SEL misurati con quelli simulati nei due casi.

Le misure considerate ed i relativi risultati di simulazione per ogni sito di misura sono riportati nelle schede riassuntive raccolte nel successivo paragrafo, in cui si riportano anche i valori delle differenze tra misure e simulazioni.

A5.2 Schede dei casi di test – Confronto tra misure e simulazioni

Linea 1 Roma-Orte-Firenze (linea direttissima) Sito di misura Capena - S.Oreste

Linea: Roma – Orte – Firenze (direttissima)												
Tratta: Capena S.Oreste												
Progressiva chilometrica: 32.220												
Postazione di misura #1: 7.5 m distanza mezzera binario vicino; 1.3 m altezza sul piano del ferro												
Postazione di misura #2: 25 m distanza mezzera binario vicino; 3.0 m altezza sul piano del ferro												
Tipologia	Durata (s)	Velocità Km/h	SEL misurato dB(A)		SEL predetto INAC dB(A)		Scostamento INAC dB(A)		SEL predetto SRM II dB(A)		Scostamento SRM II dB(A)	
			Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2
ETR500	5.7	205.1	102.7	99.2	99.8	95.6	-2.9	-3.6	97.7	93.2	-5.0	-6.0
IC/EC	7.5	174.3	104.4	101.1	102.7	98.5	-1.7	-2.6	105.8	101.4	1.4	0.3
ETR500	6.1	191.8	100.6	97.4	99.3	95.0	-1.3	-2.4	97.2	92.7	-3.4	-4.7
ETR500	4.2	203.7	102.8	99.0	102.1	96.4	-0.7	-2.6	99.9	94.1	-2.9	-4.9
ETR500	5.8	202.3	102.6	98.9	102.0	96.3	-0.6	-2.6	99.8	94.0	-2.8	-4.9
R	5.0	133.9	98.1	94.7	97.6	93.2	-0.5	-1.5	102.1	97.6	4.0	2.9
ETR500	4.0	213.8	100.6	97.6	100.2	95.9	-0.4	-1.7	98.0	93.5	-2.6	-4.1
ETR500	5.8	203.4	102.4	98.7	102.1	96.4	-0.3	-2.3	99.9	94.1	-2.5	-4.6
ETR500	6.0	195.9	102.0	98.6	101.8	96.0	-0.2	-2.6	99.6	93.8	-2.4	-4.8
ETR500	6.0	195.9	99.5	96.4	99.4	95.2	-0.1	-1.2	97.4	92.9	-2.1	-3.5
IC/EC	7.4	162.4	101.7	98.3	102.1	97.9	0.4	-0.4	104.8	100.3	3.1	2.0
ETR500	6.0	195.9	100.8	97.3	101.8	96.0	1.0	-1.3	99.6	93.8	-1.2	-3.5
IC/EC	4.7	194.2	104.8	100.9	106.0	100.3	1.2	-0.6	109.6	103.9	4.8	3.0
D	5.8	124.7	96.4	93.1	99.0	94.7	2.6	1.6	101.2	96.7	4.8	3.6
IR	5.2	140.1	99.4	95.4	102.4	96.6	3.0	1.2	105.0	99.1	5.6	3.7
D	5.4	135.1	99.0	94.9	102.1	96.3	3.1	1.4	104.5	98.7	5.5	3.8
D	5.4	135.6	103.6	101.6	98.0	95.4	-5.6	-6.2	100.5	97.8	-3.1	-3.8
IC/EC	6.6	196.2	107.0	105.4	103.6	100.4	-3.4	-5.0	107.3	104.0	0.3	-1.4
IC/EC	7.8	165.6	103.5	102.3	100.6	98.0	-2.9	-4.3	103.3	100.6	-0.2	-1.7
IC/EC	6.5	198.9	106.2	104.7	103.7	100.5	-2.5	-4.2	107.5	104.2	1.3	-0.5
ETR500	5.5	216.1	102.4	98.7	100.1	96.9	-2.3	-1.8	97.9	94.5	-4.5	-4.2
ETR500	7.5	157.4	98.0	96.3	95.8	93.3	-2.2	-3.0	93.8	91.3	-4.2	-5.0
IC/EC	7.7	169.5	102.8	101.7	100.8	98.2	-2.0	-3.5	103.6	101.0	0.8	-0.7
ETR500	5.8	204.4	100.1	98.8	98.1	95.5	-2.0	-3.3	95.7	93.2	-4.4	-5.6
IC/EC	6.7	193.5	104.9	103.1	103.5	100.3	-1.4	-2.8	107.1	103.8	2.2	0.7
R	6.1	138.4	99.1	97.3	97.7	94.4	-1.4	-2.9	102.4	99.0	3.3	1.7
ETR500	5.5	214.1	101.4	100.0	100.0	96.8	-1.4	-3.2	97.8	94.4	-3.6	-5.6
IR	7.2	140.9	99.6	98.0	98.3	95.8	-1.3	-2.2	101.0	98.3	1.4	0.3
D	6.5	141.9	101.1	99.1	100.0	96.7	-1.1	-2.4	102.7	99.3	1.6	0.2
ETR500	6.0	197.9	98.8	97.1	97.8	95.3	-1.0	-1.8	95.5	92.9	-3.3	-4.2
IC/EC	6.5	184.6	104.0	102.4	103.0	99.8	-1.0	-2.6	106.4	103.1	2.4	0.7
ETR500	5.4	220.1	101.2	99.9	100.2	97.0	-1.0	-2.9	98.0	94.6	-3.2	-5.3
ETR500	6.0	197.6	98.7	97.5	97.8	95.2	-0.9	-2.3	95.5	92.9	-3.2	-4.6
ETR500	5.3	224.3	101.2	99.7	100.4	97.2	-0.8	-2.5	98.1	94.8	-3.1	-4.9
ETR500	4.1	208.0	99.0	97.2	98.2	95.7	-0.8	-1.5	95.9	93.3	-3.1	-3.9
ETR500	6.0	197.2	100.0	98.6	99.3	96.1	-0.7	-2.5	97.2	93.8	-2.8	-4.8
ETR500	7.1	165.4	96.6	95.4	96.2	93.7	-0.4	-1.7	94.2	91.6	-2.4	-3.8
ETR500	4.1	206.0	98.5	97.1	98.1	95.6	-0.4	-1.5	95.8	93.2	-2.7	-3.9
ETR500	4.8	176.6	97.1	95.4	96.8	94.3	-0.3	-1.1	94.7	92.1	-2.4	-3.3
ETR500	5.4	218.9	100.4	99.1	100.2	97.0	-0.2	-2.1	98.0	94.6	-2.4	-4.5
IC/EC	7.3	216.9	104.6	103.1	104.4	101.2	-0.2	-1.9	108.9	105.6	4.3	2.5
ETR500	6.0	197.2	97.9	96.8	97.8	95.2	-0.1	-1.6	95.5	92.9	-2.4	-3.9
ETR500	3.7	225.8	100.5	99.0	100.5	97.3	0.0	-1.7	98.2	94.8	-2.3	-4.2
ETR500	6.8	174.5	96.6	95.2	96.7	94.2	0.1	-1.0	94.6	92.0	-2.0	-3.2
ETR500	4.4	191.1	97.2	95.7	97.5	95.0	0.3	-0.7	95.3	92.7	-1.9	-3.0
ETR500	6.6	177.6	96.5	95.0	96.9	94.3	0.4	-0.7	94.7	92.2	-1.8	-2.8
IC/EC	7.8	154.5	98.9	97.7	100.0	97.4	1.1	-0.3	102.3	99.6	3.4	1.9
IR	6.2	147.2	97.5	96.7	98.7	96.2	1.2	-0.5	101.6	98.9	4.1	2.2
D	5.1	143.4	96.6	95.3	98.5	95.9	1.9	0.6	101.2	98.6	4.6	3.3
D	5.3	137.9	96.8	95.3	99.7	96.5	2.9	1.2	102.3	98.9	5.5	3.6
IC/EC	6.8	205.8	98.4	97.1	102.5	99.9	4.1	2.8	106.5	103.9	8.1	6.8
D	3.8	142.8	91.8	90.6	98.5	95.9	6.7	5.3	101.2	98.5	9.4	7.9

Linea 1 Roma-Orte-Firenze (linea direttissima)
Sito di misura Gallese - S.Oreste

Linea: Roma - Orte - Firenze (direttissima)												
Tratta: Gallese S.Oreste												
Progressiva chilometrica: 59.840												
Postazione di misura #1: 10 m distanza mezzeria binario vicino; 1.6 m altezza sul piano del ferro												
Postazione di misura #2: 20 m distanza mezzeria binario vicino; 3.2 m altezza sul piano del ferro												
Tipologia	Durata (s)	Velocità Km/h	SEL misurato dB(A)		SEL predetto INAC dB(A)		Scostamento INAC dB(A)		SEL predetto SRM II dB(A)		Scostamento SRM II dB(A)	
			Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2
D	4.8	150.5	106.0	102.2	99.6	97.3	-6.4	-4.9	102.7	100.2	-3.3	-2.0
IR	8.3	122.1	102.2	99.2	97.8	95.5	-4.4	-3.7	99.9	97.4	-2.3	-1.8
ETR500	13.9	84.9	94.4	91.2	91.2	88.8	-3.2	-2.4	90.2	87.9	-4.2	-3.3
D	5.8	124.7	100.9	98.5	98.0	95.7	-2.9	-2.8	100.2	97.7	-0.7	-0.8
ETR500	5.6	211.0	103.6	100.3	100.9	97.8	-2.7	-2.5	98.8	95.5	-4.8	-4.8
ETR500	5.0	237.9	102.7	98.8	100.1	97.8	-2.6	-1.0	97.7	95.3	-5.0	-3.5
D	4.9	149.5	103.9	103.9	101.4	98.3	-2.5	-5.6	104.5	101.2	0.6	-2.7
ETR500	5.6	211.4	101.3	97.7	99.1	96.8	-2.2	-0.9	96.8	94.4	-4.5	-3.3
D	6.2	118.0	101.5	95.7	99.4	96.2	-2.1	0.5	101.4	98.1	-0.1	2.4
R	6.5	129.9	100.2	96.5	98.2	95.0	-2.0	-1.5	102.6	99.3	2.4	2.8
ETR500	3.7	227.6	101.7	98.6	99.7	97.4	-2.0	-1.2	97.3	95.0	-4.4	-3.6
IC/EC	6.7	194.1	104.2	101.3	102.7	100.3	-1.5	-1.0	106.4	103.9	2.2	2.6
ETR500	5.0	237.9	103.3	100.0	102.0	98.8	-1.3	-1.2	99.7	96.4	-3.6	-3.6
R	5.1	130.0	99.3	97.0	98.2	95.0	-1.1	-2.0	102.6	99.3	3.3	2.3
ETR500	5.7	206.2	101.6	97.9	100.7	97.6	-0.9	-0.3	98.6	95.3	-3.0	-2.6
ETR500	8.4	141.0	96.3	93.4	95.6	93.2	-0.7	-0.2	93.9	91.5	-2.4	-1.9
IC/EC	7.7	192.6	103.3	100.2	102.6	100.3	-0.7	0.1	106.3	103.8	3.0	3.6
ETR500	4.2	202.7	100.8	97.6	100.6	97.4	-0.2	-0.2	98.5	95.2	-2.3	-2.4
IC/EC	6.9	188.5	102.5	99.3	102.4	100.1	-0.1	0.8	105.9	103.5	3.4	4.2
D	3.5	152.5	99.5	96.2	99.8	97.4	0.3	1.2	102.9	100.4	3.4	4.2
ETR500	6.2	189.6	99.7	96.5	100.0	96.9	0.3	0.4	98.0	94.7	-1.7	-1.8
IC/EC	8.9	145.4	101.7	100.6	102.0	98.9	0.3	-1.7	104.1	100.8	2.4	0.2
ETR500	6.1	194.6	99.8	97.1	100.2	97.1	0.4	0.0	98.2	94.9	-1.6	-2.2
ETR500	4.4	192.4	97.8	94.8	98.3	95.9	0.5	1.1	96.1	93.7	-1.7	-1.1
ETR500	5.5	213.7	98.7	95.7	99.2	96.9	0.5	1.2	96.9	94.5	-1.8	-1.2
ETR500	5.5	216.1	100.5	97.6	101.1	98.0	0.6	0.4	98.9	95.7	-1.6	-1.9
ETR500	5.6	210.7	98.3	95.5	99.1	96.7	0.8	1.2	96.8	94.4	-1.5	-1.1
R	2.8	114.5	96.3	92.4	97.1	93.9	0.8	1.5	96.6	93.2	0.3	0.8
ETR500	4.8	175.6	98.1	94.7	99.3	96.2	1.2	1.5	97.4	94.1	-0.7	-0.6
ETR500	4.3	199.4	97.2	94.1	98.6	96.3	1.4	2.2	96.4	94.0	-0.8	-0.1
IC/EC	7.6	171.8	100.2	97.3	101.6	99.3	1.4	2.0	104.6	102.1	4.4	4.8
ETR500	4.4	194.2	96.8	93.6	98.4	96.0	1.6	2.4	96.2	93.8	-0.6	0.2
IC/EC	8.6	151.5	100.6	96.9	102.4	99.2	1.8	2.3	104.7	101.4	4.1	4.5
ETR500	5.2	226.5	97.9	95.0	99.7	97.4	1.8	2.4	97.3	94.9	-0.6	-0.1
IR	6.3	145.3	99.2	96.2	101.2	98.1	2.0	1.9	104.1	100.8	4.9	4.6
IR	6.5	142.4	97.0	93.9	99.2	96.8	2.2	2.9	101.9	99.5	4.9	5.6
IC/EC	6.7	179.1	99.2	96.2	102.0	99.6	2.8	3.4	105.2	102.7	6.0	6.5
ETR500	6.4	185.4	94.9	92.1	98.0	95.6	3.1	3.5	95.8	93.5	0.9	1.4
IC/EC	7.9	165.0	99.6	95.9	103.1	100.0	3.5	4.1	105.9	102.6	6.3	6.7
ETR500	6.1	193.0	96.6	93.5	100.1	97.0	3.5	3.5	98.1	94.8	1.5	1.3
ETR500	4.2	200.6	95.1	92.2	98.6	96.3	3.5	4.1	96.4	94.0	1.3	1.8
R	4.8	139.5	93.2	90.4	96.9	94.5	3.7	4.1	101.6	99.2	8.4	8.8
ETR500	5.9	201.3	93.6	90.8	100.5	97.4	6.9	6.6	98.4	95.1	4.8	4.3
IC/EC	8.1	160.1	95.9	92.5	102.8	99.7	6.9	7.2	105.4	102.1	9.5	9.6
ETR500	6.2	190.2	89.9	86.9	100.0	96.9	10.1	10.0	98.0	94.7	8.1	7.8
IC/EC	6.7	195.0	90.1	87.0	104.5	101.4	14.4	14.4	108.3	105.0	18.2	18.0
ETR500	6.9	169.7	81.1	78.6	97.2	94.9	16.1	16.3	95.2	92.8	14.1	14.2

Linea 2 Roma-Orte-Firenze (linea lenta)
Sito di misura Settebagni - Monterotondo

Linea: Roma - Orte - Firenze (lenta)												
Tratta: Settebagni - Monterotondo												
Progressiva chilometrica: 23.710												
Postazione di misura #1: 7.5 m distanza mezzera binario vicino; 1.2 m altezza sul piano del ferro												
Postazione di misura #2: 25 m distanza mezzera binario vicino; 3.5 m altezza sul piano del ferro												
Tipologia	Durata (s)	Velocità Km/h	SEL misurato dB(A)		SEL predetto INAC dB(A)		Scostamento INAC dB(A)		SEL predetto SRM II dB(A)		Scostamento SRM II dB(A)	
			Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2
MERCI	17.4	37.7	112.6	106.4	99.7	94.1	-12.9	-12.3	96.1	89.9	-16.5	-16.5
MERCI	22.4	36.0	106.1	99.8	99.2	93.7	-6.9	-6.1	95.9	89.6	-10.2	-10.2
MERCI	21.7	81.1	109.2	104.4	104.3	100.0	-4.9	-4.4	99.9	95.4	-9.3	-9.0
R	3.4	93.6	97.4	91.1	96.6	91.0	-0.8	-0.1	95.4	89.6	-2.0	-1.5
R	3.7	86.0	96.6	90.0	95.8	90.3	-0.8	0.3	94.4	88.6	-2.2	-1.4
R	3.9	82.7	96.1	89.5	95.5	89.9	-0.6	0.4	93.9	88.1	-2.2	-1.4
R	3.9	81.0	95.4	88.7	95.3	89.7	-0.1	1.0	93.7	87.8	-1.7	-0.9
R	3.6	88.9	94.1	83.8	94.2	89.8	0.1	6.0	92.8	88.2	-1.3	4.4
R	3.6	87.7	95.4	89.2	96.0	90.4	0.6	1.2	94.6	88.8	-0.8	-0.4
R	3.9	81.6	94.7	87.3	95.4	89.8	0.7	2.5	93.8	87.9	-0.9	0.6
MERCI	7.1	92.2	106.5	101.5	107.4	101.8	0.9	0.3	103.3	97.4	-3.2	-4.1
R	3.8	83.3	94.6	90.2	95.6	90.0	1.0	-0.2	94.0	88.2	-0.6	-2.0
R	3.7	87.2	94.5	94.5	95.9	90.4	1.4	-4.1	94.6	88.7	0.1	-5.8
R	4.0	79.6	93.3	86.9	95.2	89.6	1.9	2.7	93.5	87.6	0.2	0.7
R	3.7	86.2	94.0	87.6	95.9	90.3	1.9	2.7	94.4	88.6	0.4	1.0
R	3.7	85.5	93.9	87.4	95.8	90.2	1.9	2.8	94.3	88.5	0.4	1.1
R	3.7	85.5	93.2	87.0	95.8	90.2	2.6	3.2	94.3	88.5	1.1	1.5
R	3.6	87.7	93.3	86.8	96.0	90.4	2.7	3.6	94.6	88.8	1.3	2.0
R	4.0	80.2	92.4	86.0	95.2	89.7	2.8	3.7	93.6	87.7	1.2	1.7
R	3.8	82.9	92.6	86.3	95.5	89.9	2.9	3.6	94.0	88.1	1.4	1.8
R	3.7	85.8	90.9	85.5	93.9	89.5	3.0	4.0	92.4	87.8	1.5	2.3
R	3.7	87.0	90.9	85.2	94.0	89.6	3.1	4.4	92.5	87.9	1.6	2.7
R	3.7	86.2	90.8	86.1	93.9	89.6	3.1	3.5	92.4	87.8	1.6	1.7
R	3.9	81.8	90.2	85.2	93.4	89.1	3.2	3.9	91.8	87.2	1.6	2.0
R	3.7	85.1	90.4	87.4	93.8	89.5	3.4	2.1	92.3	87.7	1.9	0.3
R	4.1	77.2	89.4	84.6	92.9	88.6	3.5	4.0	91.1	86.5	1.7	1.9
R	3.5	89.9	90.7	85.9	94.3	89.9	3.6	4.0	92.9	88.4	2.2	2.5
R	3.8	84.4	89.9	85.1	93.7	89.4	3.8	4.3	92.2	87.6	2.3	2.5
R	4.8	67.0	87.5	82.4	91.7	87.4	4.2	5.0	89.4	84.8	1.9	2.4
R	3.9	81.8	89.2	83.8	93.4	89.1	4.2	5.3	91.8	87.2	2.6	3.4
R	3.6	88.9	89.8	85.4	94.2	89.8	4.4	4.4	92.8	88.2	3.0	2.8
R	3.7	86.0	89.4	84.4	93.9	89.5	4.5	5.1	92.4	87.8	3.0	3.4
R	3.6	87.9	91.2	85.0	96.0	90.5	4.8	5.5	94.7	88.8	3.5	3.8
R	3.9	81.0	90.1	84.4	95.3	89.7	5.2	5.3	93.7	87.8	3.6	3.4
R	3.7	85.8	88.5	83.4	93.9	89.5	5.4	6.1	92.4	87.8	3.9	4.4
R	3.6	87.4	88.3	83.3	94.0	89.7	5.7	6.4	92.6	88.0	4.3	4.7
R	3.9	81.6	87.6	82.7	93.4	89.1	5.8	6.4	91.8	87.2	4.2	4.5
R	3.9	82.7	87.4	83.8	93.5	89.2	6.1	5.4	91.9	87.3	4.5	3.5
R	3.8	83.5	87.3	82.3	93.6	89.3	6.3	7.0	92.0	87.5	4.7	5.2
R	3.9	81.8	86.0	81.2	93.4	89.1	7.4	7.9	91.8	87.2	5.8	6.0

Linea 2 Roma-Orte-Firenze (linea lenta)
Sito di misura Pianabella - Fara Sabina

Linea: Roma – Orte – Firenze (lenta)												
Tratta: Pianabella - Fara Sabina												
Progressiva chilometrica: 33.790												
Postazione di misura #1: 12.5 m distanza mezzeria binario vicino; 1.8 m altezza sul piano del ferro												
Postazione di misura #2: 25 m distanza mezzeria binario vicino; 3.5 m altezza sul piano del ferro												
Tipologia	Durata (s)	Velocità Km/h	SEL misurato dB(A)		SEL predetto INAC dB(A)		Scostamento INAC dB(A)		SEL predetto SRM II dB(A)		Scostamento SRM II dB(A)	
			Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2
R	3.4	94.4	99.2	95.6	93.1	90.4	-6.1	-5.2	91.8	89.0	-7.4	-6.6
R	3.8	83.1	98.7	95.4	93.2	90.0	-5.5	-5.4	91.6	88.1	-7.1	-7.3
R	3.4	93.3	98.4	94.7	93.0	90.3	-5.4	-4.4	91.7	88.8	-6.7	-5.9
R	3.8	83.7	94.5	90.5	93.3	90.0	-1.2	-0.5	91.7	88.2	-2.8	-2.3
R	4.3	74.9	93.2	89.5	92.3	89.1	-0.9	-0.4	90.3	86.9	-2.9	-2.6
R	3.6	87.4	94.2	90.4	93.7	90.4	-0.5	0.0	92.2	88.8	-2.0	-1.6
R	3.4	92.8	94.6	90.9	94.2	90.9	-0.4	0.0	92.9	89.5	-1.7	-1.4
R	3.3	95.3	93.4	89.8	93.1	90.4	-0.3	0.6	91.9	89.1	-1.5	-0.7
R	3.7	85.3	91.8	88.1	92.2	89.5	0.4	1.4	90.6	87.7	-1.2	-0.4
R	3.5	92.0	92.9	89.0	94.1	90.9	1.2	1.9	92.8	89.4	-0.1	0.4
R	3.8	83.3	91.5	88.0	93.3	90.0	1.8	2.0	91.6	88.2	0.1	0.2
R	3.2	98.5	92.8	89.4	94.7	91.5	1.9	2.1	93.7	90.2	0.9	0.8
MERCI	13.9	83.5	102.3	98.8	104.3	101.0	2.0	2.2	99.9	96.4	-2.4	-2.4
R	3.5	92.0	92.0	88.7	94.1	90.9	2.1	2.2	92.8	89.4	0.8	0.7
R	4.2	76.7	90.3	86.7	92.5	89.3	2.2	2.6	90.6	87.2	0.3	0.5
R	3.5	90.4	91.6	88.1	94.0	90.7	2.4	2.6	92.6	89.2	1.0	1.1
R	3.4	93.6	91.8	88.1	94.3	91.0	2.5	2.9	93.0	89.6	1.2	1.5
MERCI	16.2	74.6	100.7	97.2	103.3	100.0	2.6	2.8	98.8	95.3	-1.9	-1.9
R	3.4	93.3	91.4	87.9	94.3	91.0	2.9	3.1	93.0	89.6	1.6	1.7
R	3.8	83.3	88.7	85.4	92.0	89.3	3.3	3.9	90.3	87.4	1.6	2.0
R	3.4	92.5	89.6	86.4	92.9	90.2	3.3	3.8	91.5	88.7	1.9	2.3
R	3.8	84.9	90.1	86.8	93.4	90.2	3.3	3.4	91.8	88.4	1.7	1.6
R	3.3	97.0	91.0	87.4	94.6	91.3	3.6	3.9	93.5	90.0	2.5	2.6
R	3.7	86.0	89.8	86.5	93.5	90.3	3.7	3.8	92.0	88.6	2.2	2.1
R	3.7	86.0	89.6	85.8	93.5	90.3	3.9	4.5	92.0	88.6	2.4	2.8
R	3.7	85.1	88.2	85.3	92.2	89.5	4.0	4.2	90.5	87.7	2.3	2.4
MERCI	26.4	63.1	97.8	94.2	101.8	98.5	4.0	4.3	97.3	93.8	-0.5	-0.4
R	3.4	93.1	88.9	85.2	92.9	90.2	4.0	5.0	91.6	88.8	2.7	3.6
MERCI	14.9	77.9	98.3	95.6	102.3	99.6	4.0	4.0	97.8	95.0	-0.5	-0.6
MERCI	8.0	95.0	100.0	96.9	104.1	101.4	4.1	4.5	99.8	97.0	-0.2	0.1
R	3.4	92.8	89.7	86.0	94.2	90.9	4.5	4.9	92.9	89.5	3.2	3.5
R	3.7	85.5	87.6	84.1	92.2	89.5	4.6	5.4	90.6	87.7	3.0	3.6
R	3.5	92.0	88.0	84.6	92.8	90.1	4.8	5.5	91.5	88.6	3.5	4.0
R	3.6	88.2	86.6	84.1	92.5	89.8	5.9	5.7	91.0	88.1	4.4	4.0
R	3.7	85.1	85.9	82.7	92.2	89.5	6.3	6.8	90.5	87.7	4.6	5.0
R	3.6	88.6	86.2	82.6	92.5	89.8	6.3	7.2	91.0	88.2	4.8	5.6
R	3.4	93.3	86.3	83.0	93.0	90.3	6.7	7.3	91.7	88.8	5.4	5.8
R	3.8	83.1	86.4	82.6	93.2	90.0	6.8	7.4	91.6	88.1	5.2	5.5
R	3.6	89.6	87.0	83.4	93.9	90.6	6.9	7.2	92.5	89.1	5.5	5.7
R	3.7	86.7	85.2	82.4	92.3	89.6	7.1	7.2	90.8	87.9	5.6	5.5
R	3.5	90.2	86.5	83.0	94.0	90.7	7.5	7.7	92.6	89.1	6.1	6.1
R	4.0	80.6	85.5	81.7	93.0	89.7	7.5	8.0	91.2	87.8	5.7	6.1
R	3.4	93.1	85.4	81.9	92.9	90.2	7.5	8.3	91.6	88.8	6.2	6.9
R	3.5	91.4	85.1	82.1	92.8	90.1	7.7	8.0	91.4	88.6	6.3	6.5
R	3.7	86.0	82.6	79.4	92.2	89.5	9.6	10.1	90.7	87.8	8.1	8.4
MERCI	18.9	72.1	91.3	88.0	101.7	99.0	10.4	11.0	97.1	94.2	5.8	6.2

Linea 2 Roma-Orte-Firenze (linea lenta)
Sito di misura Fara Sabina - Poggio Mirteto

Linea: Roma – Orte – Firenze (lenta)												
Tratta: Fara Sabina - Poggio Mirteto												
Progressiva chilometrica: 47.390												
Postazione di misura #1: 7.5 m distanza mezzera binario vicino; 1.2 m altezza sul piano del ferro												
Postazione di misura #2: 25 m distanza mezzera binario vicino; 3.5 m altezza sul piano del ferro												
Tipologia	Durata (s)	Velocità Km/h	SEL misurato dB(A)		SEL predetto INAC dB(A)		Scostamento INAC dB(A)		SEL predetto SRM II dB(A)		Scostamento SRM II dB(A)	
			Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2
MERCI	16.2	68.4	107.4	101.1	104.8	99.2	-2.6	-1.9	100.5	94.5	-6.9	-6.6
MERCI	23.1	39.0	103.2	98.1	101.5	97.2	-1.7	-0.9	97.1	92.4	-6.1	-5.7
MERCI	27.8	36.3	100.8	94.7	99.3	93.7	-1.5	-1.0	95.9	89.7	-4.9	-5.0
E/EN	13.5	63.0	98.8	92.6	98.9	93.3	0.1	0.7	96.9	90.7	-1.9	-1.9
MERCI	19.8	84.1	106.4	99.9	106.6	101.0	0.2	1.1	102.4	96.5	-4.0	-3.4
MERCI	21.5	51.6	99.9	94.7	100.4	96.1	0.5	1.4	96.0	91.3	-3.9	-3.4
MERCI	32.7	46.2	99.7	93.7	101.4	95.8	1.7	2.1	97.4	91.3	-2.3	-2.4
R	4.0	79.0	90.1	83.6	93.1	88.8	3.0	5.2	91.4	86.8	1.3	3.2
R	4.8	66.3	87.9	82.3	91.6	87.3	3.7	5.0	89.3	84.6	1.4	2.3
R	3.7	87.0	92.0	85.5	95.9	90.4	3.9	4.9	94.5	88.7	2.5	3.2
R	3.9	82.7	91.5	85.1	95.5	89.9	4.0	4.8	93.9	88.1	2.4	3.0
R	4.6	68.9	89.4	83.0	93.9	88.3	4.5	5.3	91.7	85.9	2.3	2.9
R	4.2	75.8	90.2	83.7	94.7	89.2	4.5	5.5	92.9	87.0	2.7	3.3
R	4.1	77.2	87.1	81.7	92.9	88.6	5.8	6.9	91.1	86.5	4.0	4.8
R	3.8	83.5	89.0	82.8	95.6	90.0	6.6	7.2	94.1	88.2	5.1	5.4
R	3.9	81.8	88.4	82.0	95.4	89.8	7.0	7.8	93.8	87.9	5.4	5.9
R	3.9	82.2	86.4	81.0	93.5	89.2	7.1	8.2	91.9	87.3	5.5	6.3
R	4.2	76.7	84.9	79.7	92.9	88.5	8.0	8.8	91.0	86.4	6.1	6.7
R	5.3	59.9	84.2	78.2	92.7	87.1	8.5	8.9	90.1	84.2	5.9	6.0
R	4.0	79.6	83.8	79.1	93.2	88.9	9.4	9.8	91.5	86.9	7.7	7.8
R	3.8	82.9	71.2	66.3	93.6	89.2	22.4	22.9	92.0	87.4	20.8	21.1

Linea 3 Roma-Civitavecchia-Livorno-Pisa
Sito di misura Torre in Pietra – Maccarese

Linea: Roma – Civitavecchia - Livorno - Pisa													
Tratta: Torre in Pietra - Maccarese													
Progressiva chilometrica: 37.200													
Postazione di misura #1: 7.5 m distanza mezzera binario vicino; 1.2 m altezza sul piano del ferro													
Postazione di misura #2: 20 m distanza mezzera binario vicino; 3.0 m altezza sul piano del ferro													
Tipologia	Durata (s)	Velocità Km/h	SEL misurato dB(A)		SEL predetto INAC dB(A)		Scostamento INAC dB(A)		SEL predetto SRM II dB(A)		Scostamento SRM II dB(A)		
			Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	
IC/EC	7.2	141.5	114.4	110.5	103.0	98.6	-11.4	-11.9	105.1	100.4	-9.3	-10.1	
IC/EC	6.9	146.2	110.2	107.2	101.4	98.1	-8.8	-9.1	103.5	100.0	-6.7	-7.2	
IC/EC	7.6	157.9	108.6	105.8	102.0	98.7	-6.6	-7.1	104.6	101.1	-4.0	-4.7	
IC/EC	6.5	157.1	106.8	104.1	102.0	98.7	-4.8	-5.4	104.5	101.0	-2.3	-3.1	
IC/EC	8.9	136.0	107.1	103.4	102.6	98.3	-4.5	-5.1	104.5	99.9	-2.6	-3.5	
R	7.9	107.1	99.3	97.7	95.8	92.4	-3.5	-5.3	99.6	96.0	0.3	-1.7	
D	6.9	132.7	104.5	101.0	101.6	97.2	-2.9	-3.8	104.2	99.6	-0.3	-1.4	
R	8.3	102.2	97.8	95.8	97.3	92.9	-0.5	-2.9	101.1	96.4	3.3	0.6	
IC/EC	7.8	141.4	100.7	98.6	101.1	97.8	0.4	-0.8	103.1	99.5	2.4	0.9	
R	7.8	108.0	96.9	94.5	97.8	93.4	0.9	-1.1	101.7	97.0	4.8	2.5	
R	7.1	119.4	95.1	94.2	96.7	93.4	1.6	-0.8	100.9	97.3	5.8	3.1	
D	5.6	146.5	100.8	98.1	102.5	98.1	1.7	0.0	105.5	100.9	4.7	2.8	
MERCI	8.4	83.8	102.8	99.4	104.6	101.2	1.8	1.8	100.3	96.7	-2.5	-2.7	
D	5.9	138.8	99.6	96.0	102.0	97.6	2.4	1.6	104.8	100.2	5.2	4.2	
D	6.0	137.4	96.2	94.7	100.0	96.7	3.8	2.0	102.7	99.2	6.5	4.5	
IC/EC	6.8	150.1	99.2	96.3	103.5	99.1	4.3	2.8	105.9	101.2	6.7	4.9	
IC/EC	7.4	124.1	97.0	94.0	101.8	97.5	4.8	3.5	103.4	98.7	6.4	4.7	
R	2.7	118.3	91.5	88.7	96.7	93.3	5.2	4.6	96.3	92.8	4.8	4.1	
R	3.0	105.0	92.2	85.8	97.6	93.1	5.4	7.3	96.9	92.2	4.7	6.4	
R	2.6	123.8	93.1	89.0	99.0	94.6	5.9	5.6	98.9	94.2	5.8	5.2	
R	3.4	93.9	86.7	83.9	94.6	91.3	7.9	7.4	93.5	89.9	6.8	6.0	
R	3.0	106.1	85.3	82.3	95.7	92.3	10.4	10.0	95.0	91.4	9.7	9.1	
D	5.2	159.6	90.9	91.2	101.3	98.0	10.4	6.8	104.7	101.2	13.8	10.0	
R	2.9	109.4	87.5	83.1	97.9	93.5	10.4	10.4	97.4	92.7	9.9	9.6	
R	2.8	113.3	87.2	83.2	98.2	93.8	11.0	10.6	97.8	93.1	10.6	9.9	
R	2.8	112.5	87.1	83.7	98.2	93.7	11.1	10.0	97.7	93.0	10.6	9.3	
R	4.1	78.0	81.3	82.2	93.0	89.7	11.7	7.5	91.2	87.6	9.9	5.4	
R	2.8	115.3	82.9	83.1	96.4	93.1	13.5	10.0	96.0	92.4	13.1	9.3	
R	2.9	109.4	81.8	81.9	96.0	92.6	14.2	10.7	95.4	91.8	13.6	9.9	
R	3.0	106.4	81.3	81.9	95.7	92.4	14.4	10.5	95.0	91.4	13.7	9.5	
R	2.7	117.4	82.9	82.8	98.5	94.1	15.6	11.3	98.2	93.6	15.3	10.8	

Linea 3 Roma-Civitavecchia-Livorno-Pisa
Sito di misura M.Cerveteri – Ladispoli

Linea: Roma – Civitavecchia - Livorno - Pisa												
Tratta: M.Cerveteri - Ladispoli												
Progressiva chilometrica: 52.700												
Postazione di misura #1: 7.5 m distanza mezzera binario vicino; 1.2 m altezza sul piano del ferro												
Postazione di misura #2: 25 m distanza mezzera binario vicino; 3.5 m altezza sul piano del ferro												
Tipologia	Durata (s)	Velocità Km/h	SEL misurato dB(A)		SEL predetto INAC dB(A)		Scostamento INAC dB(A)		SEL predetto SRM II dB(A)		Scostamento SRM II dB(A)	
			Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2
D	7.9	116.1	111.3	105.6	100.5	95.0	-10.8	-10.6	102.6	96.7	-8.7	-8.9
R	3.1	104.3	106.4	97.2	97.5	91.9	-8.9	-5.3	96.8	90.9	-9.6	-6.3
MERCI	21.5	79.6	113.5	107.2	106.1	100.6	-7.4	-6.6	101.9	95.9	-11.6	-11.3
D	7.9	104.6	104.5	100.8	97.6	93.4	-6.9	-7.4	99.3	94.7	-5.2	-6.1
MERCI	15.5	65.1	109.2	104.4	102.4	98.1	-6.8	-6.3	97.9	93.3	-11.3	-11.1
R	3.6	88.4	102.7	92.6	96.1	90.5	-6.6	-2.1	94.7	88.9	-8.0	-3.7
IC/EC	8.1	124.8	108.3	103.2	101.9	96.4	-6.4	-6.8	103.5	97.6	-4.8	-5.6
D	7.0	103.7	103.9	100.6	97.6	93.3	-6.3	-7.3	99.2	94.6	-4.7	-6.0
IC/EC	8.3	144.6	108.9	104.1	103.2	97.7	-5.7	-6.4	105.4	99.6	-3.5	-4.5
IC/EC	7.8	153.9	108.4	103.4	103.7	98.3	-4.7	-5.1	106.2	100.5	-2.2	-2.9
IC/EC	6.6	153.8	107.8	103.1	103.7	98.3	-4.1	-4.8	106.2	100.4	-1.6	-2.7
MERCI	12.2	57.9	104.9	100.2	101.4	97.1	-3.5	-3.1	96.9	92.2	-8.0	-8.0
D	6.6	111.2	101.4	98.4	98.2	93.9	-3.2	-4.5	100.0	95.4	-1.4	-3.0
IC/EC	6.8	150.1	106.3	101.1	103.5	98.0	-2.8	-3.1	105.9	100.1	-0.4	-1.0
R	3.2	99.5	97.9	92.3	95.1	90.8	-2.8	-1.5	94.2	89.6	-3.7	-2.7
R	3.2	99.5	97.9	92.3	95.1	90.8	-2.8	-1.5	94.2	89.6	-3.7	-2.7
R	9.0	93.9	99.0	93.9	96.6	91.0	-2.4	-2.9	100.2	94.3	1.2	0.4
R	9.7	87.3	96.4	93.1	94.0	89.7	-2.4	-3.4	97.4	92.7	1.0	-0.4
R	2.7	117.4	100.6	91.8	98.5	93.0	-2.1	1.2	98.2	92.4	-2.4	0.6
IC/EC	6.2	162.7	104.1	100.4	102.3	98.0	-1.8	-2.4	105.0	100.5	0.9	0.1
R	3.2	100.7	96.8	90.3	95.3	90.9	-1.5	0.6	94.3	89.8	-2.5	-0.5
D	7.9	104.3	100.5	95.4	99.5	94.0	-1.0	-1.4	101.4	95.4	0.9	0.0
R	2.7	116.1	97.0	90.0	96.5	92.2	-0.5	2.2	96.1	91.5	-0.9	1.5
R	10.3	73.7	92.9	90.4	92.5	88.2	-0.4	-2.2	95.9	91.2	3.0	0.8
ETR300	4.3	196.1	100.8	95.5	101.5	96.0	0.7	0.5	99.6	93.8	-1.2	-1.7
R	2.7	119.6	97.8	89.7	98.7	93.1	0.9	3.4	98.5	92.6	0.7	2.9
IC/EC	7.2	140.9	99.0	95.4	101.1	96.8	2.1	1.4	103.0	98.5	4.0	3.1
R	10.0	84.1	91.0	88.1	93.7	89.4	2.7	1.3	97.1	92.4	6.1	4.3
IC/EC	7.0	145.2	98.3	95.8	101.3	97.1	3.0	1.3	103.4	98.9	5.1	3.1
R	8.9	95.3	93.7	89.0	96.7	91.2	3.0	2.2	100.4	94.4	6.7	5.4
IC/EC	7.2	167.2	98.4	94.5	102.5	98.3	4.1	3.8	105.4	100.9	7.0	6.4
D	8.1	90.4	93.9	88.8	98.3	92.8	4.4	4.0	99.9	93.9	6.0	5.1
R	3.2	98.5	90.5	84.6	95.1	90.7	4.6	6.1	94.1	89.5	3.6	4.9
R	2.8	114.5	90.7	84.2	96.4	92.0	5.7	7.8	95.9	91.4	5.2	7.2
D	7.7	106.9	93.4	88.5	99.8	94.3	6.4	5.8	101.6	95.7	8.2	7.2
R	3.1	104.3	89.8	81.7	97.5	91.9	7.7	10.2	96.8	90.9	7.0	9.2
E/EN	7.4	149.4	96.6	91.3	104.4	100.0	7.8	8.7	103.8	99.3	7.2	8.0
R	3.3	97.6	87.7	79.2	96.9	91.4	9.2	12.2	96.0	90.1	8.3	10.9
R	3.1	102.3	81.9	76.6	95.4	91.1	13.5	14.5	94.5	90.0	12.6	13.4
R	2.8	113.7	82.1	77.1	96.3	92.0	14.2	14.9	95.8	91.3	13.7	14.2

Linea 4 Roma-Formia-Napoli
Sito di misura Torricola – RM Casilina

Linea: Roma – Formia - Napoli												
Tratta: Roma Casilina - Torricola												
Progressiva chilometrica: 9.500												
Postazione di misura #1: 7.5 m distanza mezzeria binario vicino; 1.2 m altezza sul piano del ferro												
Postazione di misura #2: 25 m distanza mezzeria binario vicino; 3.5 m altezza sul piano del ferro												
Tipologia	Durata (s)	Velocità Km/h	SEL misurato dB(A)		SEL predetto INAC dB(A)		Scostamento INAC dB(A)		SEL predetto SRM II dB(A)		Scostamento SRM II dB(A)	
			Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2
R	9.3	52.9	107.1	101.7	89.7	85.3	-17.4	-16.4	93.6	88.8	-13.5	-12.9
R	4.6	126.2	107.7	101.0	97.2	92.9	-10.5	-8.1	101.6	97.0	-6.1	-4.0
ETR500	5.7	177.8	110.9	101.2	100.6	95.2	-10.3	-6.0	98.8	93.1	-12.1	-8.1
IC/EC	3.7	145.1	110.2	104.3	101.3	97.0	-8.9	-7.3	103.4	98.9	-6.8	-5.4
R	3.6	138.5	107.9	98.9	100.0	94.4	-7.9	-4.5	104.8	99.0	-3.1	0.1
R	5.7	133.5	105.3	99.7	97.7	93.4	-7.6	-6.3	102.3	97.8	-3.0	-1.9
D	10.4	125.0	106.1	99.9	99.2	94.9	-6.9	-5.0	101.5	96.9	-4.6	-3.0
ETR500	6.6	177.0	107.1	98.9	100.6	95.2	-6.5	-3.7	98.8	93.1	-8.3	-5.8
ETR500	7.3	116.4	103.3	94.8	97.0	91.5	-6.3	-3.3	95.8	90.0	-7.5	-4.8
ETR500	14.1	60.3	95.7	90.4	89.4	85.1	-6.3	-5.3	89.1	84.7	-6.6	-5.7
R	6.7	86.2	100.2	94.6	93.9	89.6	-6.3	-5.0	97.3	92.6	-2.9	-2.0
D	6.4	58.3	100.4	92.2	94.5	89.0	-5.9	-3.2	96.4	90.2	-4.0	-2.0
IC/EC	8.6	161.3	109.4	100.9	104.1	98.7	-5.3	-2.2	106.8	101.1	-2.6	0.2
MERCI	7.3	41.5	105.4	96.9	100.5	94.9	-4.9	-2.0	96.7	90.5	-8.7	-6.4
R	9.8	130.3	104.3	96.4	99.4	93.9	-4.9	-2.5	104.0	98.2	-0.3	1.8
IC/EC	7.8	141.4	105.8	99.7	101.1	96.8	-4.7	-2.9	103.1	98.6	-2.7	-1.1
IC/EC	9.4	117.9	105.5	97.4	101.4	95.9	-4.1	-1.5	102.8	96.9	-2.7	-0.5
D	6.6	153.3	104.1	96.3	101.0	96.7	-3.1	0.4	104.2	99.7	0.1	3.4
IC/EC	8.9	146.6	106.3	97.6	103.3	97.8	-3.0	0.2	105.5	99.8	-0.8	2.2
R	7.0	145.4	102.9	95.2	100.4	94.8	-2.5	-0.4	105.4	99.7	2.5	4.5
IC/EC	9.4	127.9	102.5	96.4	100.2	96.0	-2.3	-0.4	101.8	97.2	-0.7	0.8
MERCI	12.7	71.7	107.0	98.0	105.2	99.6	-1.8	1.6	100.9	94.9	-6.1	-3.1
ETR500	8.4	101.4	95.3	89.7	93.9	89.6	-1.4	-0.1	92.7	88.3	-2.6	-1.4
ETR500	7.8	149.7	98.5	92.8	97.3	93.0	-1.2	0.2	95.5	91.1	-3.0	-1.7
ETR500	8.9	131.3	96.9	92.6	96.1	91.9	-0.8	-0.7	94.6	90.2	-2.3	-2.4
ETR500	8.8	133.4	98.9	91.3	98.1	92.7	-0.8	1.4	96.8	91.0	-2.1	-0.3
ETR500	5.9	143.5	99.2	94.1	98.8	93.3	-0.4	-0.8	97.3	91.5	-1.9	-2.6
R	4.4	130.8	99.2	90.5	99.5	93.9	0.3	3.4	104.0	98.2	4.8	7.7
R	5.3	108.9	95.3	88.8	95.9	91.6	0.6	2.8	99.8	95.2	4.5	6.4
R	3.4	144.6	99.7	90.6	100.3	94.8	0.6	4.2	105.4	99.6	5.7	9.0
R	5.3	108.9	94.8	88.5	95.9	91.6	1.1	3.1	99.8	95.2	5.0	6.7
IC/EC	7.1	169.7	100.7	94.6	102.7	98.4	2.0	3.8	105.6	101.2	4.9	6.6
IC/EC	4.5	142.3	99.0	92.8	101.1	96.9	2.1	4.1	103.2	98.6	4.2	5.8
D	7.9	140.0	99.9	90.9	102.1	96.6	2.2	5.7	104.9	99.1	5.0	8.2
D	7.7	144.0	98.2	91.6	100.4	96.1	2.2	4.5	103.3	98.8	5.1	7.2
ETR500	5.0	168.6	95.9	90.9	98.3	94.0	2.4	3.1	96.4	92.0	0.5	1.1
R	4.3	136.0	96.6	88.1	99.8	94.3	3.2	6.2	104.5	98.8	7.9	10.7
D	7.1	128.8	98.1	89.8	101.4	95.9	3.3	6.1	103.8	98.0	5.7	8.2
R	4.2	138.9	96.7	88.1	100.0	94.4	3.3	6.3	104.8	99.0	8.1	10.9
ETR500	6.3	134.2	92.7	86.8	96.3	92.0	3.6	5.2	94.7	90.3	2.0	3.5
ETR500	9.4	125.0	93.8	87.1	97.6	92.1	3.8	5.0	96.3	90.6	2.5	3.5
MERCI	7.8	90.1	101.4	95.6	105.2	100.9	3.8	5.3	101.0	96.4	-0.4	0.8
ETR500	5.6	152.8	93.5	88.1	97.4	93.2	3.9	5.1	95.7	91.3	2.2	3.2
D	7.7	132.3	95.6	89.9	99.7	95.4	4.1	5.5	102.2	97.7	6.6	7.8
D	5.7	160.6	97.2	91.3	101.4	97.1	4.2	5.8	104.8	100.3	7.6	9.0
MERCI	14.2	81.4	102.1	93.1	106.3	100.7	4.2	7.6	102.1	96.2	0.0	3.1
R	4.3	134.7	92.5	86.9	97.8	93.4	5.3	6.5	102.4	97.9	9.9	11.0
IC/EC	10.8	129.6	94.9	88.9	100.3	96.1	5.4	7.2	101.9	97.4	7.0	8.5
D	7.4	149.0	97.1	89.4	102.6	97.1	5.5	7.7	105.8	100.0	8.7	10.6
ETR500	6.0	140.7	91.4	85.7	98.6	93.2	7.2	7.5	97.1	91.4	5.7	5.7

Linea 4 Roma-Formia-Napoli
Sito di misura Torricola – Pomezia

Linea: Roma – Formia - Napoli												
Tratta: Torricola - Pomezia												
Progressiva chilometrica: 20.550												
Postazione di misura #1: 12.5 m distanza mezzera binario vicino; 1.8 m altezza sul piano del ferro												
Postazione di misura #2: 25 m distanza mezzera binario vicino; 3.5 m altezza sul piano del ferro												
Tipologia	Durata (s)	Velocità Km/h	SEL misurato dB(A)		SEL predetto INAC dB(A)		Scostamento INAC dB(A)		SEL predetto SRM II dB(A)		Scostamento SRM II dB(A)	
			Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2
IC/EC	8.0	126.4	109.5	108.0	99.7	96.5	-9.8	-11.5	101.2	97.8	-8.3	-10.2
ETR500	19.3	61.1	97.0	96.1	87.9	85.2	-9.1	-10.9	87.5	84.8	-9.5	-11.3
ETR500	5.5	154.4	105.7	104.1	97.2	94.0	-8.5	-10.1	95.4	92.1	-10.3	-12.0
MERCI	26.1	19.3	98.7	95.8	90.2	87.5	-8.5	-8.3	89.0	86.0	-9.7	-9.8
D	5.5	149.7	108.3	106.9	100.4	97.2	-7.9	-9.7	103.4	100.1	-4.9	-6.8
ETR500	30.3	38.8	89.5	89.0	83.9	81.3	-5.6	-7.7	84.3	81.6	-5.2	-7.4
ETR500	5.1	165.5	102.3	100.9	97.8	94.6	-4.5	-6.3	95.9	92.6	-6.4	-8.3
IC/EC	7.7	156.7	105.9	104.1	101.6	98.4	-4.3	-5.7	104.1	100.7	-1.8	-3.4
D	7.1	143.3	102.7	101.8	98.8	96.1	-3.9	-5.7	101.5	98.7	-1.2	-3.1
R	4.4	131.1	99.1	98.2	95.9	93.2	-3.2	-5.0	100.3	97.5	1.2	-0.7
ETR500	13.0	65.1	91.5	90.6	88.4	85.8	-3.1	-4.8	87.9	85.2	-3.6	-5.4
MERCI	18.1	50.0	101.4	99.1	98.5	95.8	-2.9	-3.3	94.0	91.1	-7.4	-8.0
R	5.3	93.8	95.5	94.9	93.0	90.3	-2.5	-4.6	96.4	93.5	0.9	-1.4
R	3.7	134.0	98.1	97.3	96.1	93.4	-2.0	-3.9	100.6	97.8	2.5	0.5
D	9.7	95.1	98.4	97.1	96.5	93.2	-1.9	-3.9	97.9	94.4	-0.5	-2.7
ETR500	9.0	131.3	97.4	96.1	95.8	92.6	-1.6	-3.5	94.3	90.9	-3.1	-5.2
D	6.8	149.9	101.9	100.6	100.4	97.2	-1.5	-3.4	103.5	100.1	1.6	-0.5
MERCI	11.8	77.1	103.6	101.0	102.2	99.5	-1.4	-1.5	97.7	94.9	-5.9	-6.1
ETR500	12.1	70.1	90.2	89.2	89.1	86.4	-1.1	-2.8	88.4	85.7	-1.8	-3.5
R	3.7	132.9	98.1	97.2	97.3	94.1	-0.8	-3.1	101.8	98.4	3.7	1.2
D	7.4	123.9	97.7	96.6	97.5	94.8	-0.2	-1.8	99.6	96.8	1.9	0.2
ETR500	7.1	167.0	97.5	96.3	97.8	94.7	0.3	-1.6	96.0	92.6	-1.5	-3.7
IC/EC	8.8	147.1	99.9	98.5	101.1	97.9	1.2	-0.6	103.2	99.8	3.3	1.3
R	4.9	118.5	95.1	94.5	96.3	93.1	1.2	-1.4	100.4	97.0	5.3	2.5
D	5.3	155.3	98.1	96.5	99.5	96.8	1.4	0.3	102.6	99.9	4.5	3.4
IC/EC	8.0	163.1	98.8	97.3	100.7	98.1	1.9	0.8	103.3	100.6	4.5	3.3
ETR500	8.0	146.8	94.4	93.3	96.7	93.5	2.3	0.2	95.1	91.7	0.7	-1.6
R	3.9	126.1	92.8	92.1	95.6	92.9	2.8	0.8	99.8	97.0	7.0	4.9
MERCI	11.4	93.0	100.4	98.0	103.9	101.2	3.5	3.2	99.6	96.7	-0.8	-1.3
IC/EC	7.4	137.1	95.7	94.3	99.2	96.6	3.5	2.3	100.9	98.1	5.2	3.8
IC/EC	7.7	155.7	97.7	96.4	101.6	98.4	3.9	2.0	104.0	100.6	6.3	4.2
MERCI	15.0	67.1	97.0	94.7	101.0	98.3	4.0	3.6	96.4	93.5	-0.6	-1.2
R	3.6	137.0	93.5	92.6	97.6	94.3	4.1	1.7	102.2	98.8	8.7	6.2
IR	6.6	152.6	94.6	92.9	99.3	96.6	4.7	3.7	102.4	99.6	7.8	6.7
D	7.2	141.5	95.0	93.8	99.9	96.7	4.9	2.9	102.7	99.3	7.7	5.5
ETR500	5.0	168.8	92.6	91.3	97.9	94.7	5.3	3.4	96.1	92.7	3.5	1.4
R	3.8	129.8	91.7	91.0	97.1	93.8	5.4	2.8	101.5	98.1	9.8	7.1
D	4.7	156.3	93.8	92.9	99.5	96.8	5.7	3.9	102.7	100.0	8.9	7.1
R	4.0	123.3	90.5	89.7	96.7	93.4	6.2	3.7	100.9	97.5	10.4	7.8
MERCI	19.0	50.5	92.0	89.8	98.6	95.9	6.6	6.1	94.0	91.1	2.0	1.3
MERCI	10.7	84.8	96.2	93.7	103.1	100.4	6.9	6.7	98.6	95.8	2.4	2.1
R	3.9	128.1	88.2	87.6	95.7	93.0	7.5	5.4	100.0	97.2	11.8	9.6
MERCI	4.0	88.2	92.5	90.2	103.4	100.7	10.9	10.5	99.0	96.2	6.5	6.0
MERCI	5.4	93.2	91.5	89.3	103.9	101.2	12.4	11.9	99.6	96.8	8.1	7.5

Linea 4 Roma-Formia-Napoli
Sito di misura Cisterna di Latina – Campoleone

Linea: Roma – Formia - Napoli												
Tratta: Cisterna di Latina - Campoleone												
Progressiva chilometrica: 39.800												
Postazione di misura #1: 10.0 m distanza mezzeria binario vicino; 1.6 m altezza sul piano del ferro												
Postazione di misura #2: 20 m distanza mezzeria binario vicino; 3.0 m altezza sul piano del ferro												
Tipologia	Durata (s)	Velocità Km/h	SEL misurato dB(A)		SEL predetto INAC dB(A)		Scostamento INAC dB(A)		SEL predetto SRM II dB(A)		Scostamento SRM II dB(A)	
			Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2
ETR500	4.9	174.0	108.7	107.0	97.7	95.2	-11.0	-11.8	95.8	93.2	-12.9	-13.8
IC/EC	6.2	164.0	111.2	108.3	103.0	99.9	-8.2	-8.4	105.8	102.5	-5.4	-5.8
IC/EC	8.5	164.1	111.0	108.4	103.1	99.9	-7.9	-8.5	105.8	102.5	-5.2	-5.9
IC/EC	8.1	148.9	110.0	107.4	102.2	99.1	-7.8	-8.3	104.4	101.1	-5.6	-6.3
IC/EC	9.8	142.8	107.8	106.3	100.3	97.8	-7.5	-8.5	102.3	99.7	-5.5	-6.6
MERCI	13.6	74.1	111.2	107.5	104.3	101.1	-6.9	-6.4	99.8	96.4	-11.4	-11.1
ETR500	5.1	165.2	105.6	102.7	98.8	95.6	-6.8	-7.1	97.0	93.7	-8.6	-9.0
D	7.0	144.6	107.7	105.0	101.2	98.0	-6.5	-7.0	104.0	100.7	-3.7	-4.3
ETR500	7.7	153.9	103.1	101.7	96.7	94.2	-6.4	-7.5	94.9	92.3	-8.2	-9.4
IC/EC	8.1	160.3	107.7	106.0	101.3	98.9	-6.4	-7.1	103.9	101.3	-3.8	-4.7
ETR500	6.6	179.0	103.6	101.9	98.0	95.5	-5.6	-6.4	96.0	93.4	-7.6	-8.5
ETR500	6.9	169.9	104.2	102.4	99.0	95.9	-5.2	-6.5	97.2	93.9	-7.0	-8.5
D	6.9	161.6	105.7	104.2	100.6	98.1	-5.1	-6.1	104.0	101.4	-1.7	-2.8
IC/EC	8.3	157.4	107.5	104.8	102.7	99.5	-4.8	-5.3	105.2	101.9	-2.3	-2.9
D	5.2	140.3	105.7	103.3	100.9	97.7	-4.8	-5.6	103.6	100.3	-2.1	-3.0
ETR500	6.7	175.8	103.3	100.9	99.3	96.2	-4.0	-4.7	97.4	94.1	-5.9	-6.8
ETR500	4.9	174.1	101.7	99.8	97.7	95.2	-4.0	-4.6	95.8	93.2	-5.9	-6.6
ETR500	5.0	169.5	102.9	99.9	99.0	95.9	-3.9	-4.0	97.2	93.9	-5.7	-6.0
ETR500	8.6	99.2	96.6	95.5	92.8	90.4	-3.8	-5.1	91.7	89.1	-4.9	-6.4
ETR500	5.0	170.9	101.0	99.1	97.6	95.1	-3.4	-4.0	95.6	93.0	-5.4	-6.1
D	6.7	136.5	102.3	100.7	99.1	96.6	-3.2	-4.1	101.7	99.1	-0.6	-1.6
ETR500	4.9	174.7	101.9	99.2	99.3	96.1	-2.6	-3.1	97.4	94.1	-4.5	-5.1
ETR500	6.8	173.2	99.9	98.7	97.7	95.2	-2.2	-3.5	95.7	93.1	-4.2	-5.6
MERCI	19.9	83.7	107.3	103.7	105.3	102.1	-2.0	-1.6	101.0	97.6	-6.3	-6.1
D	6.3	146.0	101.6	100.1	99.7	97.2	-1.9	-2.9	102.6	100.0	1.0	-0.1
D	5.9	171.8	104.5	101.8	102.6	99.5	-1.9	-2.3	106.4	103.1	1.9	1.3
D	6.3	145.5	102.8	99.8	101.2	98.0	-1.6	-1.8	104.1	100.8	1.3	1.0
ETR500	5.2	164.3	99.8	96.6	98.7	95.6	-1.1	-1.0	96.9	93.6	-2.9	-3.0
ETR500	5.0	168.9	100.0	97.5	99.0	95.8	-1.0	-1.7	97.2	93.8	-2.8	-3.7
IC/EC	7.3	164.6	103.9	101.0	103.1	99.9	-0.8	-1.1	105.8	102.5	1.9	1.5
D	6.0	153.8	100.9	99.0	100.2	97.7	-0.7	-1.3	103.3	100.7	2.4	1.7
IC/EC	7.5	160.9	102.0	100.4	101.4	98.9	-0.6	-1.5	104.0	101.3	2.0	0.9
IC/EC	7.4	136.9	100.6	98.7	100.0	97.5	-0.6	-1.2	101.7	99.1	1.1	0.4
D	6.4	158.6	102.4	99.4	102.0	98.8	-0.4	-0.6	105.3	102.0	2.9	2.6
R	6.8	136.7	99.0	97.2	98.6	95.4	-0.4	-1.8	103.3	99.9	4.3	2.7
MERCI	11.2	85.7	104.2	101.5	104.0	101.4	-0.2	-0.1	99.6	96.9	-4.6	-4.6
IR	5.1	161.4	102.1	98.8	102.1	98.9	0.0	0.1	105.5	102.2	3.4	3.4
ETR500	6.5	181.2	99.2	96.9	99.6	96.4	0.4	-0.5	97.7	94.4	-1.5	-2.5
E/EN	9.5	106.7	101.7	97.3	102.2	99.0	0.5	1.7	100.3	96.9	-1.4	-0.4
IC/EC	6.4	144.2	100.7	99.1	101.9	98.8	1.2	-0.3	104.0	100.7	3.3	1.6
IC/EC	8.7	138.6	98.3	96.8	100.1	97.6	1.8	0.8	101.9	99.3	3.6	2.5
IC/EC	5.3	156.2	100.7	98.2	102.6	99.5	1.9	1.3	105.1	101.8	4.4	3.6
IC/EC	5.4	153.9	98.4	96.7	101.0	98.5	2.6	1.8	103.3	100.7	4.9	4.0
D	8.4	131.3	96.0	93.6	100.3	97.1	4.3	3.5	102.8	99.4	6.8	5.8
IC/EC	9.0	144.1	96.0	94.3	100.4	97.9	4.4	3.6	102.4	99.8	6.4	5.5
MERCI	5.4	84.3	99.1	96.6	103.8	101.3	4.7	4.7	99.4	96.8	0.3	0.2
D	8.9	114.4	92.8	91.6	97.6	95.1	4.8	3.5	99.5	96.8	6.7	5.2
D	5.9	139.1	94.4	92.6	99.3	96.8	4.9	4.2	102.0	99.3	7.6	6.7
MERCI	1.7	86.9	92.9	88.8	105.7	102.4	12.8	13.6	101.4	98.0	8.5	9.2

Linea 4 Roma-Formia-Napoli
Sito di misura Latina – Sezze R.

Linea: Roma – Formia - Napoli												
Tratta: Sezze - Latina Scalo												
Progressiva chilometrica: 63.100												
Postazione di misura #1: 12.5 m distanza mezzera binario vicino; 1.8 m altezza sul piano del ferro												
Postazione di misura #2: 25 m distanza mezzera binario vicino; 3.5 m altezza sul piano del ferro												
Tipologia	Durata (s)	Velocità Km/h	SEL misurato dB(A)		SEL predetto INAC dB(A)		Scostamento INAC dB(A)		SEL predetto SRM II dB(A)		Scostamento SRM II dB(A)	
			Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2
D	10.5	87.4	106.6	105.2	94.5	91.8	-12.1	-13.4	95.6	92.8	-11.0	-12.4
ETR300	5.4	157.3	107.0	104.7	97.3	94.1	-9.7	-10.6	95.6	92.2	-11.4	-12.5
ETR300	7.6	111.6	103.0	101.1	94.3	91.1	-8.7	-10.0	93.1	89.7	-9.9	-11.4
ETR300	7.4	115.4	101.9	100.5	93.4	90.7	-8.5	-9.8	92.0	89.2	-9.9	-11.3
IC/EC	15.5	139.0	108.8	106.6	100.6	97.4	-8.2	-9.2	102.4	99.1	-6.4	-7.5
D	12.5	81.1	103.0	100.9	95.1	91.9	-7.9	-9.0	96.4	92.8	-6.6	-8.1
IC/EC	12.7	101.9	105.5	103.2	97.9	94.7	-7.6	-8.5	98.6	95.2	-6.9	-8.0
IC/EC	12.8	93.9	104.5	103.2	97.2	94.0	-7.3	-9.2	97.8	94.3	-6.7	-8.9
D	7.6	121.2	105.9	103.8	98.6	95.3	-7.3	-8.5	100.7	97.2	-5.2	-6.6
R	12.1	77.2	99.9	98.2	92.6	89.3	-7.3	-8.9	95.9	92.4	-4.0	-5.8
ETR300	5.6	152.7	104.0	102.1	97.1	93.9	-6.9	-8.2	95.3	92.0	-8.7	-10.1
MERCI	18.4	49.3	106.6	103.1	99.7	96.4	-6.9	-6.7	95.3	91.8	-11.3	-11.3
ETR300	7.7	152.5	103.5	101.3	97.1	93.9	-6.4	-7.4	95.3	92.0	-8.2	-9.3
R	9.5	98.5	101.0	99.4	94.7	91.4	-6.3	-8.0	98.3	94.8	-2.7	-4.6
IC/EC	13.8	101.1	102.3	100.9	96.6	93.9	-5.7	-7.0	97.2	94.3	-5.1	-6.6
IC/EC	8.9	135.2	105.8	103.7	100.3	97.1	-5.5	-6.6	102.1	98.7	-3.7	-5.0
ETR300	11.1	76.6	94.9	93.5	89.8	87.2	-5.1	-6.3	89.0	86.3	-5.9	-7.2
IC/EC	12.5	111.7	103.2	101.2	98.7	95.5	-4.5	-5.7	99.7	96.2	-3.5	-5.0
R	5.8	99.4	98.6	97.2	94.8	91.5	-3.8	-5.7	98.4	94.9	-0.2	-2.3
ETR300	8.1	146.3	100.3	98.3	96.7	93.5	-3.6	-4.8	95.0	91.7	-5.3	-6.6
ETR300	5.6	151.7	99.7	97.7	97.0	93.8	-2.7	-3.9	95.3	91.9	-4.4	-5.8
IC/EC	10.1	100.0	100.3	98.2	97.7	94.5	-2.6	-3.7	98.4	95.0	-1.9	-3.2
IC/EC	5.7	176.6	104.9	103.0	102.7	99.5	-2.2	-3.5	105.8	102.4	0.9	-0.6
IR	9.3	118.9	100.6	98.1	98.4	95.2	-2.2	-2.9	100.4	97.0	-0.2	-1.1
D	13.0	78.1	95.5	94.2	93.5	90.8	-2.0	-3.4	94.6	91.7	-0.9	-2.5
D	5.5	115.1	99.9	97.8	98.1	94.9	-1.8	-2.9	100.0	96.6	0.1	-1.2
D	8.2	123.9	100.5	98.5	98.8	95.5	-1.7	-3.0	100.9	97.5	0.4	-1.0
ETR300	7.4	159.1	98.9	97.0	97.4	94.2	-1.5	-2.8	95.6	92.3	-3.3	-4.7
IC/EC	14.1	91.9	97.0	95.4	95.7	93.1	-1.3	-2.3	96.2	93.3	-0.8	-2.1
D	10.0	101.3	97.6	95.8	97.0	93.8	-0.6	-2.0	98.6	95.1	1.0	-0.7
MERCI	6.4	47.5	98.4	95.7	98.0	95.3	-0.4	-0.4	93.6	90.7	-4.8	-5.0
ETR300	8.4	140.4	95.4	94.4	95.1	92.4	-0.3	-2.0	93.4	90.6	-2.0	-3.8
IC/EC	9.6	106.0	97.0	95.7	97.0	94.3	0.0	-1.4	97.7	94.9	0.7	-0.8
IC/EC	6.9	134.1	98.9	97.6	99.0	96.4	0.1	-1.2	100.6	97.8	1.7	0.2
D	8.9	113.4	96.2	95.0	96.7	94.0	0.5	-1.0	98.5	95.7	2.3	0.7
D	8.0	126.2	96.7	95.7	97.7	95.0	1.0	-0.7	99.8	97.0	3.1	1.3
ETR300	8.4	139.7	93.9	93.1	95.0	92.4	1.1	-0.7	93.3	90.6	-0.6	-2.5
IC/EC	9.4	138.9	98.1	97.0	99.3	96.7	1.2	-0.3	101.1	98.3	3.0	1.3
D	8.9	114.5	94.8	93.6	96.8	94.1	2.0	0.5	98.6	95.8	3.8	2.2
ETR300	5.3	161.1	93.4	92.1	96.3	93.6	2.9	1.5	94.4	91.6	1.0	-0.5

Linea 5 Avezzano-Roccasecca
Sito di misura S. Vincenzo - Collepiano

Linea: Avezzano - Roccasecca												
Tratta: San Vincenzo - Collepiano												
Progressiva chilometrica: 36.150												
Postazione di misura #1: 10.0 m distanza mezzera binario vicino; 1.6 m altezza sul piano del ferro												
Postazione di misura #2: 25 m distanza mezzera binario vicino; 3.5 m altezza sul piano del ferro												
Tipologia	Durata (s)	Velocità Km/h	SEL misurato dB(A)		SEL predetto INAC dB(A)		Scostamento INAC dB(A)		SEL predetto SRM II dB(A)		Scostamento SRM II dB(A)	
			Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2
R	3.4	71.2	92.9	89.0	93.0	88.6	0.1	-0.4	84.9	80.3	-8.0	-8.7
R	3.0	78.5	92.4	87.8	93.8	89.5	1.4	1.7	85.6	81.1	-6.8	-6.7
R	2.4	65.8	89.6	85.6	92.3	87.9	2.7	2.3	84.2	79.7	-5.4	-5.9
R	3.5	68.8	89.3	86.5	92.7	88.3	3.4	1.8	84.6	80.0	-4.7	-6.5
R	2.2	73.7	89.8	85.7	93.3	88.9	3.5	3.2	85.1	80.6	-4.7	-5.1
R	3.2	74.1	89.8	85.8	93.3	89.0	3.5	3.2	85.2	80.6	-4.6	-5.2
R	2.5	63.6	88.3	85.1	92.0	87.7	3.7	2.6	84.0	79.4	-4.3	-5.7
R	1.4	58.1	84.9	80.6	91.2	86.9	6.3	6.3	83.3	78.7	-1.6	-1.9

Linea 5 Avezzano-Roccasecca
Sito di misura Arce – Colfelice

Linea: Avezzano - Roccasecca												
Tratta: Arce - Colfelice												
Progressiva chilometrica: 7.740												
Postazione di misura #1: 7.5 m distanza mezzera binario vicino; 1.2 m altezza sul piano del ferro												
Postazione di misura #2: 25 m distanza mezzera binario vicino; 3.5 m altezza sul piano del ferro												
Tipologia	Durata (s)	Velocità Km/h	SEL misurato dB(A)		SEL predetto INAC dB(A)		Scostamento INAC dB(A)		SEL predetto SRM II dB(A)		Scostamento SRM II dB(A)	
			Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2
R	3.7	64.3	94.5	88.2	93.3	87.7	-1.2	-0.5	85.4	79.5	-9.1	-8.7
R	3.3	72.3	95.2	88.5	94.3	88.8	-0.9	0.3	86.4	80.4	-8.8	-8.1
R	3.3	72.3	94.9	88.5	94.3	88.8	-0.6	0.3	86.4	80.4	-8.5	-8.1
R	3.5	68.6	94.4	88.2	93.9	88.3	-0.5	0.1	85.9	80.0	-8.5	-8.2
R	3.7	65.0	93.4	87.0	93.4	87.8	0.0	0.8	85.5	79.6	-7.9	-7.4
R	2.6	60.7	91.7	85.4	92.8	87.2	1.1	1.8	85.0	79.1	-6.7	-6.3
R	2.5	63.6	91.7	85.3	93.2	87.7	1.5	2.4	85.4	79.4	-6.3	-5.9
R	2.4	65.8	91.6	85.0	93.5	87.9	1.9	2.9	85.6	79.7	-6.0	-5.3
R	2.4	66.3	91.6	85.2	93.6	88.0	2.0	2.8	85.7	79.8	-5.9	-5.4
R	2.7	58.5	90.5	83.8	92.5	86.9	2.0	3.1	84.7	78.8	-5.8	-5.0
R	2.3	69.2	91.6	85.4	93.9	88.4	2.3	3.0	86.0	80.1	-5.6	-5.3
R	2.6	61.0	90.4	84.1	92.8	87.3	2.4	3.2	85.0	79.1	-5.4	-5.0
R	1.1	72.3	88.1	81.2	94.3	88.8	6.2	7.6	86.4	80.4	-1.7	-0.8

Linea 5 Avezzano-Roccasecca
Sito di misura Capistrello - Avezzano

Linea: Avezzano - Roccasecca												
Tratta: Capistrello - Avezzano												
Progressiva chilometrica: 72.100												
Postazione di misura #1: 7.5 m distanza mezzera binario vicino; 1.2 m altezza sul piano del ferro												
Postazione di misura #2: 25 m distanza mezzera binario vicino; 3.5 m altezza sul piano del ferro												
Tipologia	Durata (s)	Velocità Km/h	SEL misurato dB(A)		SEL predetto INAC dB(A)		Scostamento INAC dB(A)		SEL predetto SRM II dB(A)		Scostamento SRM II dB(A)	
			Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2	Pos. #1	Pos. #2
R	2.2	73.3	100.9	101.6	94.4	88.9	-6.5	-12.7	86.5	80.6	-14.4	-21.0
R	3.3	47.6	91.4	86.6	90.7	85.1	-0.7	-1.5	83.7	77.7	-7.7	-8.9
R	2.5	63.9	93.9	90.6	93.3	87.7	-0.6	-2.9	85.4	79.5	-8.5	-11.1
R	3.0	79.8	95.6	90.4	95.2	89.6	-0.4	-0.8	87.1	81.2	-8.5	-9.2
R	2.2	71.7	94.5	89.1	94.2	88.7	-0.3	-0.4	86.3	80.4	-8.2	-8.7
R	3.2	73.9	94.7	89.6	94.5	89.0	-0.2	-0.6	86.5	80.6	-8.2	-9.0
R	3.3	72.3	93.8	88.8	94.3	88.8	0.5	0.0	86.4	80.4	-7.4	-8.4
R	2.2	74.0	93.9	88.8	94.5	89.0	0.6	0.2	86.5	80.6	-7.4	-8.2
R	2.4	65.2	91.8	87.4	93.4	87.9	1.6	0.5	85.6	79.6	-6.2	-7.8
R	1.0	81.2	93.3	88.0	95.3	89.8	2.0	1.8	87.3	81.4	-6.0	-6.6
R	1.0	78.0	91.1	94.9	95.0	89.4	3.9	-5.5	87.0	81.1	-4.1	-13.8
R	1.2	65.8	88.8	83.3	93.5	87.9	4.7	4.6	85.6	79.7	-3.2	-3.6
R	1.1	72.3	89.4	84.0	94.3	88.8	4.9	4.8	86.4	80.4	-3.0	-3.6

A5.3 Risultati del confronto tra misure e simulazioni

A riepilogo dei risultati ottenuti, si riporta in questo paragrafo l'analisi degli scostamenti tra i valori dei SEL calcolati e dei SEL misurati sui singoli transiti.

Le valutazioni sono state effettuate considerando i transiti rilevati su tutti i siti di misura, trattando separatamente i dati rilevati nella postazione microfonica vicina #1 (@7.5m) e in quella lontana #2 (@25m).

Nei grafici riportati nelle seguenti figure 11, 12, 13 e 14, sono rappresentati gli istogrammi delle differenze tra i SEL calcolati e i SEL misurati sulle due postazioni microfoniche.

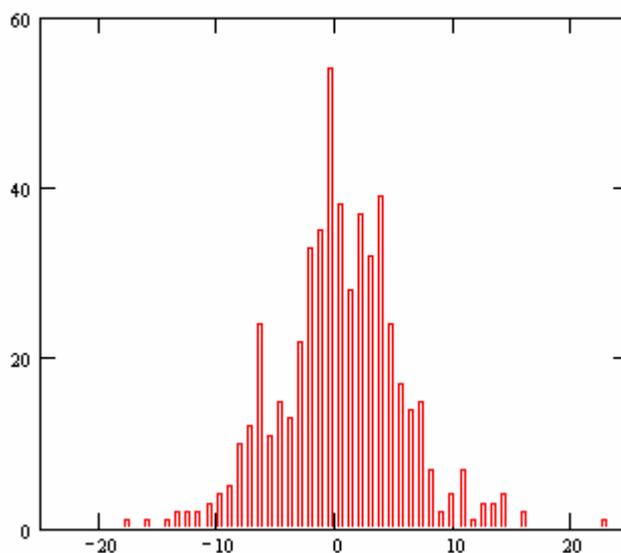


Figura 11 – Istogramma degli scostamenti tra modello “RFI-INAC” e misura
Postazione vicina (#1)

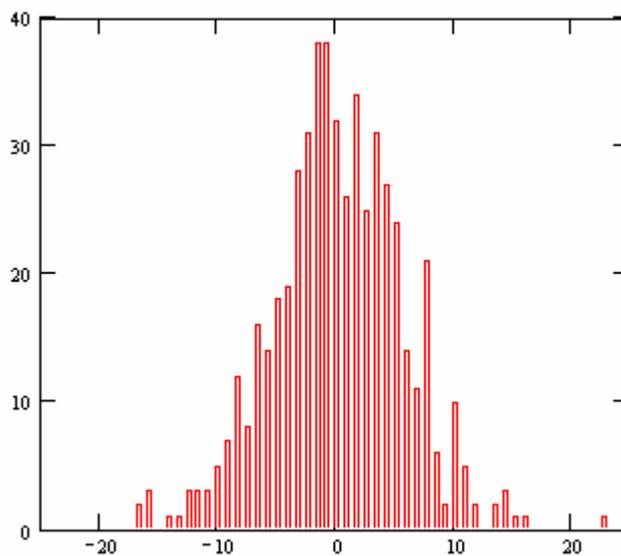


Figura 12 – Istogramma degli scostamenti tra modello “RFI-INAC” e misura
Postazione lontana (#2)

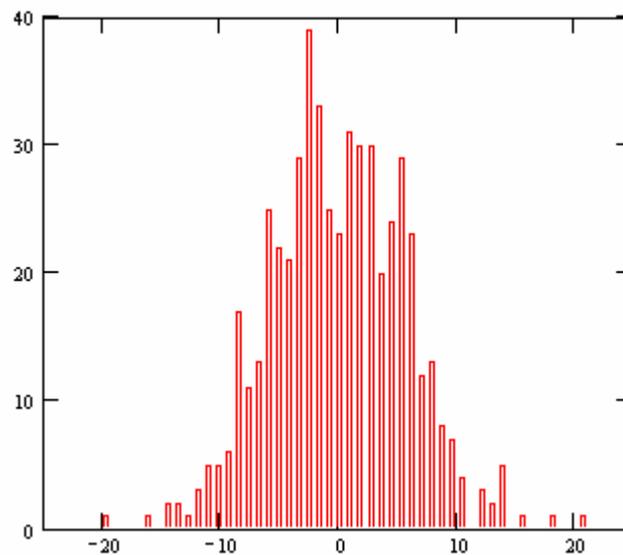


Figura 13 – Istogramma degli scostamenti tra modello “SRM II” e misura
Postazione vicina (#1)

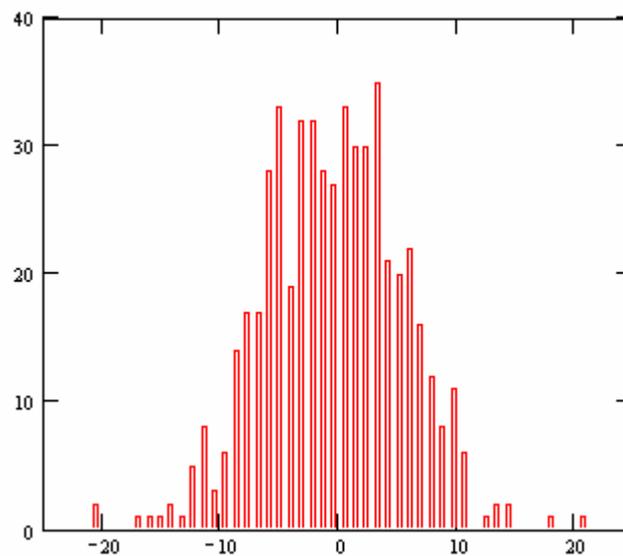


Figura 14 – Istogramma degli scostamenti tra modello “SRM II” e misura
Postazione lontana (#2)

In Tabella si riportano i valori medi e le deviazioni standard degli scostamenti tra i SEL calcolati con i due modelli “RFI-INAC” e “SRM II” e i SEL misurati.

	differenza tra SEL calcolati e SEL misurati			
	Metodo RFI-INAC		Metodo SRM II	
	Valore medio (dB)	Dev. Standard (dB)	Valore medio (dB)	Dev. Standard (dB)
Postazione #1	0.3	5.3	-0.1	5.7
Postazione #2	0.2	5.6	-0.5	5.9

Tabella 9 – Valore medio e deviazione standard degli scostamenti tra SEL calcolati e SEL misurati

Si nota:

- per entrambi i metodi di simulazione, un valore medio dello scostamento tra valori calcolati e valori misurati, estremamente contenuto.
- Il metodo “SRM II” tende a sottostimare leggermente.
- Il metodo INAC tende a sovrastimare leggermente.
- La deviazione standard degli scostamenti riscontrati con il modello INAC è leggermente più contenuta di quella relativa al modello “SRM II”.

A6. Conclusioni

Dallo studio comparativo effettuato tra il modello “RFI-INAC”, sviluppato da RFI per la redazione della mappatura acustica e del piano di risanamento ai sensi del DM Ambiente del 29/11/2000 e 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 “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale”, si possono trarre le seguenti conclusioni.

L'analisi teorica, riportata nei paragrafi A2, A3 e A4 del presente documento, ha dimostrato una sostanziale equivalenza tra i due metodi per quanto riguarda il modello di propagazione del rumore.

I confronti effettuati con le misure sperimentali, riportati nel paragrafo A5 del presente documento, volti soprattutto a comparare i due metodi nella stima dell'emissione sonora generata dall'insieme di infrastruttura ferroviaria e materiale rotabile italiani, hanno mostrato una sostanziale equivalenza dei due metodi, giustificata dai seguenti risultati:

- 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 “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 “SRM II”).

A7. Bibliografia

- [1] AR-INTERIM-CM Report “Calculation and measurement guidelines for rail transport noise 1996 - translation”.
- [2] ISO 9613-2 “Attenuation of sound during propagation outdoors – part 2”
- [3] ISO 9613-1 “Attenuation of sound during propagation outdoors - part 1”
- [4] AR-INTERIM-CM Report “Similarities & differences of ORM with END and use of ORM for strategic noise mapping”.
- [5] Mithra 5.0 Technical Manual.
- [6] AR-INTERIM-CM Report “Calculation and measurement guidelines for rail transport noise 1996 (adapted to END) – Proposed computation method for strategic noise mapping”.
- [7] Stima dei livelli sonori ai sensi del DM Ambiente 29/11/00 – Luglio 2002. Piano degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore ai sensi del DM Ambiente 29/11/00 – Dicembre 2003.
- [8] Decreto Legislativo 19/08/05 n.194 “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale”