



**Analisi dei piani di
contenimento e abbattimento
del rumore ferroviario ex DM
29/11/2000 di RFI**

2012



**Analisi dei piani di contenimento e abbattimento del rumore ferroviario ex DM
29/11/2000 di RFI**

INSIEME PER UN FUTURO SOSTENIBILE



ARPAT
Agenzia regionale
per la protezione ambientale
della Toscana

Titolo report: Analisi dei piani di contenimento e abbattimento del rumore ferroviario ex DM 29/11/2000 di RFI

A cura di:

Gaetano Licitra
ARPAT – STePPAS Direzione Tecnica

Autori:

Gaetano Licitra
ARPAT – STePPAS Direzione Tecnica

Marco Chetoni
Giuseppe Annino
IPCF-CNR Istituto per i Processi Chimico-Fisici del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Pisa

Collaboratori:

Si ringrazia:
L'Istituto per i Processi Chimico-Fisici del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Pisa

© ARPAT 2011

SE STAMPATO:
Stampato su carta che ha ottenuto il marchio di qualità ecologica dell'Unione Europea – Ecolabel



Regione Toscana

INDICE

Sintesi	p. 6
1 Introduzione	p. 8
1.1 Cenni sul rumore ferroviario	p. 8
2 Materiale fornito dalla Regione Toscana	p. 11
2.1 Comune di San Vincenzo (LI)	p. 11
2.2 Comune di Figline Valdarno (FI)	p. 11
2.3 Comune di Arezzo (AR)	p. 11
2.4 Comune di Chiusi (SI)	p. 12
2.5 Comune di Livorno (LI)	p. 12
2.6 Comune di Prato (PO)	p. 12
3 Riferimenti normativi	p. 13
4 I progetti per le opere pubbliche	p. 14
4.1 Il progetto preliminare	p. 14
4.2 Il progetto definitivo	p. 15
4.3 Il progetto esecutivo	p. 15
5 Analisi dei progetti preliminari	p. 16
5.1 Comune di San Vincenzo (LI)	p. 16
5.2 Comune di Arezzo (AR)	p. 19
5.3 Comune di Chiusi (SI)	p. 23
6 Analisi dei progetti definitivi	p. 26
6.1 Comune di Livorno (LI)	p. 26
7 Analisi dei progetti esecutivi	p. 30
7.1 Comune di Figline Valdarno (FI)	p. 30
7.2 Comune di Prato (PO)	p. 33
8 Misure di contenimento del rumore ferroviario	p. 37
8.1 Principali misure applicabili al binario	p. 38
8.2 Elenco non esaustivo delle misure di risanamento sul mercato	p. 38
8.3 Misure di riduzione specifiche applicabili al binario	p. 40
9 Conclusioni	p. 53
10 Riferimenti bibliografici	p. 55
11 Sitografia	p. 56

SINTESI

Introduzione

Il Decreto Ministeriale 29/11/2000 prevede che i gestori di infrastrutture di mobilità presentino piani di abbattimento e contenimento del rumore generato dall'esercizio delle stesse. Obiettivo delle attività di risanamento è quello di conseguire il rispetto dei valori limite stabiliti dai regolamenti di esecuzione previsti dalla Legge Quadro sull'inquinamento acustico n. 447/1995.

Successivamente alla presentazione nel 2003 del "Piano degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore ai sensi del DM Ambiente 29/11/2000" e ad una fase di concertazione in sede di Conferenza Stato Regioni, Rete Ferroviaria Italiana (RFI) ha provveduto a realizzare le varie fasi progettuali di singoli interventi, presentando i piani preliminari, definitivi ed esecutivi ai comuni oggetto di intervento di risanamento previsti nella prima fase di implementazione del Piano.

Il DM 29/11/2000 prevede (art. 5) che gli interventi finalizzati all'attività di risanamento debbano essere effettuati prioritariamente sulla sorgente di rumore, lungo la via di propagazione del rumore dalla sorgente al ricettore e infine direttamente sul ricettore. Risultati di progetti europei tra i quali STAIRRS (<http://www.stairrs.org/>) dimostrano come i soli interventi di riduzione del rumore basati su barriere non siano i più efficaci secondo un approccio costi/benefici.

Analisi dei progetti e metodo

All'interno della convenzione "Integrazioni al Piano di Contenimento e Abbattimento del rumore ferroviario di RFI redatto ai sensi del DM 29/11/2000" (vs prot. n AOOGR/75450/P.60.20) e a conclusione delle attività previste dalla "Convenzione operativa tra l'Istituto per i Processi Chimico Fisici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IPCF-CNR) e l'Agenzia per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT) per le attività connesse allo studio del rumore ambientale da specifiche sorgenti" l'Istituto per i Processi Chimico-Fisici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IPCF-CNR) ha fornito supporto ad ARPAT per l'analisi dei progetti a disposizione della Regione Toscana per il contenimento e abbattimento del rumore presentati da RFI.

Nel presente lavoro sono stati analizzati i seguenti interventi presentati da RFI in diverse fasi progettuali:

- tre progetti preliminari: comuni di Chiusi (2006), Arezzo (2007), San Vincenzo (2010);
- un progetto definitivo: comune di Livorno, sito di via del Littorale, (2009);
- due progetti esecutivi: comuni di Figline Valdarno (2006), Prato (2008).

Nello studio è stata valutata la possibilità di limitare gli interventi di posa delle barriere proposti da RFI come unica soluzione, attuando misure complementari o sostitutive che prevedessero interventi alla rotaia ottimizzando i costi/benefici utilizzando i risultati ottenuti in siti pilota all'interno del progetto QCity (<http://www.qcity.org/>).

Comune di San Vincenzo

Per il sito all'interno del Comune di San Vincenzo, è proposto di utilizzare gli smorzatori della rotaia in affiancamento delle barriere previste dal progetto preliminare, per ridurre l'altezza delle stesse fino a 4,5 m.

Comune di Arezzo

Dalla documentazione relativa al progetto preliminare, risulta che anche mettendo in opera le barriere previste (barriere tipologico "HS", barriere in corrispondenza di muri esistenti e

barriere in corrispondenza di sottopassi esistenti), ancora 41 ricettori (di cui 15 sensibili) presentano un superamento dei livelli di rumore compresi tra 0,5 e 13,9 dB(A) con una media pari a circa 5 dB(A). Attraverso interventi di molatura acustica, che nel migliore dei casi (materiale rotabile a bassa emissione), può comportare una riduzione di fino a 8 dB(A) (secondo i risultati QCity) e di inserimento di smorzatori della rotaia, il cui beneficio è stimato sui 2-3 dB(A) si può ottenere il risanamento dei ricettori con superamento residuo.

Comune di Chiusi

Per il comune di Chiusi, la documentazione a disposizione sembra non risultare completa. Non vengono fornite indicazioni relative alla presenza di ricettori sensibili specifici ma sono indicati come *sensibili* tutti i ricettori nella fascia di pertinenza dell'infrastruttura. Dopo gli interventi di posa in opera di barriere, non risultano superamenti residui. Non sono suggeriti interventi di mitigazione complementari o alternativi alle posa delle barriere stesse.

Comune di Livorno

L'analisi della documentazione fornita, relativa al progetto definitivo, riporta due studi condotti in periodi diversi e relativi a condizioni differenti. RFI ha previsto quattro interventi di posa in opera di barriere e un intervento diretto sull'edificio. Si consiglia comunque per tale sito l'inserimento di smorzatori della rotaia sia per eliminare l'eventuale superamento residuo che per ridurre l'altezza delle barriere proposte.

Comuni di Figline Valdarno e Prato

Per i progetti esecutivi di Figline Valdarno e Prato RFI ha presentato interventi di sola posa in opera delle barriere con un intervento al ricettore nel comune di Prato. In entrambi i comuni i risultati dello studio propongono l'impiego della molatura acustica in affiancamento alle barriere per poter ridurre l'altezza delle stesse anche in considerazione della specifica richiesta della Regione Toscana.

Conclusioni

In tutti i progetti analizzati vengono proposti solo interventi di posa di barriere e, in alcuni casi di ricettori isolati, opere sull'involucro edilizio. Se da una parte tali interventi riportano nei limiti normativi i valori di rumore ambientale stimato, dall'altra è dimostrato come non sempre siano i più vantaggiosi tenendo conto dei costi di realizzazione. L'inserimento sulle rotaie di smorzatori (le tipologie più diffuse in commercio sono riportate nel presente lavoro) possono essere un valido strumento di rasamento. La molatura acustica rappresenta un altro dei possibili strumenti, sicuramente da valutare anche in funzione del rinnovo del parco rotabile, per la riduzione del rumore e dell'impatto delle barriere stesse.

Il presente rapporto può costituire un utile elemento di sintesi della tipologia di interventi individuati in Toscana per suggerire, ove possibile, strategie alternative o complementari per la riduzione del rumore ottenibili con soluzioni alternative già disponibili sul mercato e implementate in altre realtà europee.

Parole chiave:

rumore ferroviario
risanamento
DM 29/11/2000
RFI
costi benefici

1 INTRODUZIONE

Il presente documento viene redatto ai sensi della Convenzione operativa siglata in data 21-10-2010 tra l'Istituto per i Processi Chimico-fisici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IPCF-CNR) e l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT) "Integrazioni al Piano di Contenimento e Abbattimento del rumore ferroviario di RFI redatto ai sensi del DM 29/11/2000" (vs prot. n AOOGRT/75450/P.60.20) e a conclusione delle attività previste dalla "Convenzione operativa tra l'Istituto per i Processi Chimico Fisici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IPCF-CNR) e l'Agenzia per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT) per le attività connesse allo studio del rumore ambientale da specifiche sorgenti". In particolare, riguarda il punto 2 della stessa: "Valutazione degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore ferroviario e studio di fattibilità di soluzioni alternative alle barriere (a. analisi dei progetti di intervento per il contenimento e abbattimento del rumore ferroviario nella Regione Toscana; b. proposta di interventi alternativi alle barriere)".

Rete Ferroviaria Italiana (RFI) ha presentato nel 2003 il "Piano degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore ai sensi del DM Ambiente 29/11/2000".

In seguito i piani preliminari, definitivi ed esecutivi sono stati inviati, ai Comuni interessati dagli interventi.

In questo rapporto sono stati esaminati tutti i Piani di Contenimento e Abbattimento del rumore ferroviario depositati presso la Regione Toscana e messi a disposizione della stessa.

L'obiettivo dell'analisi svolta è stato quello di fornire un quadro sintetico degli interventi, della loro efficacia e delle possibili ulteriori misure per la riduzione dell'esposizione di ricettori non risanati dai piani stessi e di proporre interventi alternativi alla posa delle barriere.

1.1 Costi benefici: metodologia e fonti

L'analisi condotta si è basata sulle informazioni contenute negli elaborati tecnici dei progetti e, per quanto riguarda la valutazione dei costi benefici, sui risultati di progetti europei quali QCity (<http://www.qcity.org/>) e STAIRRS (<http://www.stairrs.org>). Non si è proceduto ad effettuare ulteriori valutazioni modellistiche che avrebbero richiesto dati non disponibili. Il lavoro non ha preso in esame il metodo e le procedure di valutazione del rumore ante-operam e post-operam utilizzato per la definizione degli interventi descritti nei progetti a disposizione. I costi per la realizzazione degli interventi di risanamento complementari alle barriere sono ricavati dalla letteratura, come indicato nel Capitolo 8, e non tengono conto dei costi di cantierizzazione e gestione non ordinaria della linea.

- il metodo di Qcity

- giustificazione dei costi

1.1 Cenni sul rumore ferroviario

Le sorgenti acustiche del rumore ferroviario sono due: il sistema treno e il sistema binario.

Il rumore prodotto dal transito di un convoglio ferroviario ha origine da diverse componenti: dal contatto ruota-rotai, dal contatto pantografo-linea, dai motori di trazione, delle apparecchiature ausiliarie di raffreddamento, dall'aerodinamica del sistema.

Il contatto ruota-rotai dipende dal peso assiale e dalle dimensioni delle ruote: è presente sia sui locomotori sia sul materiale rimorchiato. L'intensità dei livelli di pressione sonora è legata

alla velocità e ad altri fattori, fra i quali il più importante risulta essere lo stato di usura dei binari e delle ruote e quindi la loro mazzatura. Generalmente la variazione del livello sonoro è funzione della velocità.

Lo studio fatto all'interno del progetto CALM (G4RT-CT-2001-05043) ha mostrato che il rumore da rotolamento, misurato in bande di terzi d'ottava, assume valori significativi tra i 250 e i 4.000 Hz; in particolare le frequenze dominanti per i binari sono tra i 600 e i 1.000 Hz, per le traversine sono circa tra i 250 e i 400 Hz, mentre per le ruote dominano le frequenze comprese tra 1.500 e 4.000 Hz.

L'angolo di emissione sonora risulta essenzialmente confinato nei 30 gradi sopra e sotto il piano del binario, fuori da questo cono il rumore prodotto dal passaggio del convoglio è in genere trascurabile.

Si presentano due categorie di rumore generato dal contatto ruota/binario:

- 1) Una sorgente di rumore continua: rumore di tangenza della ruota sul binario,
- 2) Una sorgente di rumore localizzata dovuta al:
 - rumore in curva,
 - rumore generato dai giunti,
 - rumore dovuto a cambi e incroci,
 - rumore nell'attraversamento di ponti,
 - rumore in prossimità delle stazioni, dovuto alle frenate.

Il rumore provocato dal contatto pantografo-linea in genere si avverte alle alte velocità, superiori ai 200 km/h, quindi risulta determinante essenzialmente per i treni ad alta velocità.

I motori di trazione comunemente impiegati sulla quasi totalità dei convogli destinati al traino di materiale rotabile, passeggeri e merci, sono elettrici e funzionano normalmente con una tensione di 3 kV. La rumorosità emessa è significativa solo alle basse velocità, come nei tratti di ingresso ed uscita dalle stazioni ferroviarie, ed è direttamente proporzionale alla velocità (al contrario degli altri rumori che crescono con relazioni di proporzionalità di potenza superiore rispetto alla linearità).

Il rumore aerodinamico è generato dall'aria che scorre lungo la superficie del convoglio e dalle discontinuità del treno. Questo parametro risulta molto significativo per velocità generalmente superiori a 280 km/h, determinando la rumorosità dei treni ad alta velocità che non hanno particolari accorgimenti aerodinamici.

Le apparecchiature ausiliarie di raffreddamento sono poco influenti e avvertibili solo alle basse velocità, inferiori a 60 km/h.

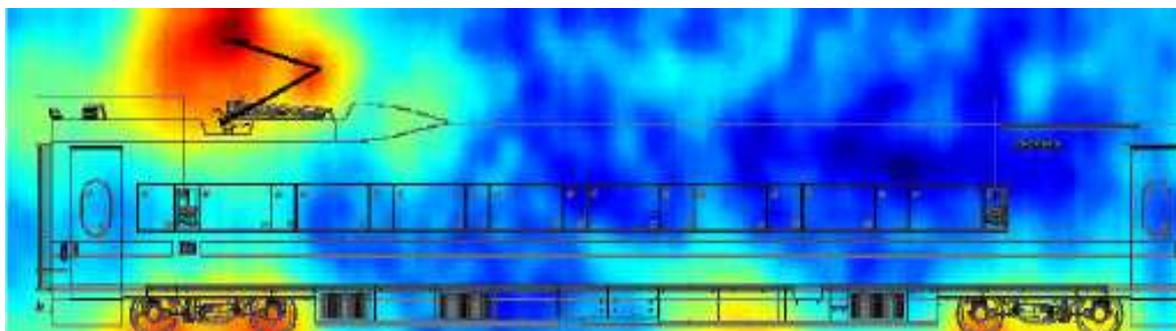
Gli eventi occasionali di tipo impulsivo e con presenza di toni puri, si manifestano in occasione dei fischi, delle frenate (sfregamento del sistema frenante sulla ruota), del passaggio sui giunti di rotaia, sugli scambi, sulle curve, sui ponti, ecc.

Il rumore a treno fermo è trascurabile, se escludiamo il rumore provocato dal funzionamento degli impianti di ventilazione e trattamento dell'aria.

La propagazione del rumore prodotto dal transito dei treni è influenzata, inoltre, da diversi fattori, che, in campo libero, si possono indicare nella divergenza geometrica, nell'assorbimento dell'atmosfera e in quello del suolo.

Il treno in movimento non può essere assimilato a una sorgente sonora omnidirezionale, poiché la base della cassa costituisce uno schermo alla propagazione del rumore generato dal carrello ferroviario.

Principali fattori responsabili del rumore prodotto da un treno ad alta velocità: visualizzazione tramite cartogramma delle varie fonti di rumore dovute al passaggio di un convoglio ferroviario ICE3 a 325 Km/h. In rosso le emissioni maggiori. [Da Harmonoise Project Technical Report HAR12TR-020118-SNCF10, 2002]



Il DPR. 459/98 fissa i limiti sonori d'immissione del rumore ferroviario ai ricettori.

Livelli limite (assoluti) di immissione	Leq diurno (06:00-22:00)	Leq notturno (22:00-06:00)
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc..)	50 dB(A)	40 dB(A)
Altri ricettori fascia A (0 - 100m)	70 dB(A)	60 dB(A)
Altri ricettori fascia B (100 - 250m)	65 dB(A)	55 dB(A)

2. MATERIALE FORNITO DALLA REGIONE TOSCANA

2.1 Comune di San Vincenzo (LI)

Progetto preliminare (2010).

Contenuti:

- relazione geologica;
- relazione paesaggistica;
- schede di sintesi della caratterizzazione acustica del sito;
- schede tecniche interventi di mitigazione;
- ortofoto;
- studio acustico: livelli di pressione sonora in facciata ante e post operam;
- relazione tecnica descrittiva delle barriere antirumore;
- mappe acustiche ante e post operam;
- report delle misure di caratterizzazione acustica della sorgente;
- schede del censimento dei ricettori.

2.2 Comune di Figline Valdarno (FI)

Progetto esecutivo (2006).

Contenuti:

- rilievi celerimetrici;
- relazione geologica e geotecnica;
- relazione descrittiva dell'intervento;
- programma dei lavori delle opere;
- relazione di calcolo delle strutture e tavole;
- planimetria delle fasi di cantierizzazione;
- computo metrico estimativo.

2.3 Comune di Arezzo (AR)

Progetto preliminare (2007)

Contenuti:

- studio paesaggistico preliminare;
- report delle misure di caratterizzazione acustica della sorgente;
- schede di censimento dei ricettori;
- schede tecniche degli interventi di mitigazione;
- livelli in facciata ante-post operam;
- studio acustico;
- relazione tecnica descrittiva delle barriere antirumore;
- schede di sintesi della caratterizzazione acustica del sito;
- tavole;
- relazione geologica-idrogeologica-geomorfologica

2.4 Comune di Chiusi (SI)

Progetto preliminare (2006).

Contenuti:

- relazione illustrativa del progetto preliminare;
- tavole di inquadramento dell'intervento;
- studio di prefattibilità ambientale;
- piano particellare preliminare di esproprio;
- relazione geologico-geotecnica;
- calcolo sommario della spesa – quadro economico
- relazione tecnica: disposizioni per la stesura dei piani di sicurezza.

2.5 Comune di Livorno (LI)

Progetto definitivo per il sito via del Littorale (2009).

Contenuti:

- relazione descrittiva delle barriere antirumore;
- relazione acustica del clima acustico;
- schede dei ricettori;
- rapporto delle misure svolte da ARPAT;
- rapporto delle misure aggiuntive;
- tavole descrittive.

2.6 Comune di Prato (PO)

Progetto esecutivo (2008).

Contenuti:

relazione geologica;
relazione descrittiva dell'intervento;
programma dei lavori e delle opere;
relazione di calcolo delle strutture;
inquadramento corografico;
tavole;
piano di sicurezza e coordinamento;
piano particellare degli espropri;
computo metrico estimativo.

3. RIFERIMENTI NORMATIVI

- L. 26/10/1995, n. 447.

Legge quadro sull'inquinamento acustico.

- D.P.R. del 18/11/98 n.459.

Regolamento recante norme di esecuzione dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447, in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario.

- D.M. 29/11/2000.

Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore.

- D. Lgs 163 del 12/4/2006.

Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione della Direttiva 2004/17/CE e della Direttiva 2004/18/CE.

- D.P.C.M. 14/11/1997

Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore.

- D.M. 16/3/98

Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico.

- L.R. 1/12//1998 n. 89 e ss.mm.

Norme in materia di inquinamento acustico.

- D.C.R. 22/2/2000 n. 77.

Definizione dei criteri e degli indirizzi della pianificazione degli enti locali ai sensi dell'art.2 della LR n. 89/98 "Norme in materia di inquinamento acustico".

4. I PROGETTI PER LE OPERE PUBBLICHE

Per *opere pubbliche* si intendono quei manufatti, realizzati (di norma su aree acquisite mediante procedimento espropriativo) a spese della collettività da enti territoriali quali Stato, Regione, Provincia o Comune, per essere fruiti indistintamente dai cittadini, e cioè destinate al conseguimento di un pubblico interesse.

A titolo d'esempio sono da considerare opere pubbliche le strade, le stazioni ferroviarie, gli aeroporti, le carceri, le costruzioni militari (caserme) e quelle civili (palazzi pubblici, scuole etc.).

In Italia il progetto e la esecuzione dei lavori pubblici era disciplinato dalla legge n. 109 del 1994, nota anche come legge Merloni, oggi sostituita dal D. Lgs. 163 del 2006 e successive modifiche. Il progetto e la esecuzione dei lavori pubblici prevede tre stadi di progettazione. Ogni stadio descrive gli elaborati di progetto minimi che devono essere presentati al Responsabile unico del procedimento, che rappresenta la Pubblica Amministrazione.

La progettazione di opere pubbliche si articola dunque su tre fasi che corrispondono a livelli sempre più definiti, con progettazione più dettagliata e finalizzati agli scopi sotto riportati:

- progettazione preliminare, consente una valutazione economica di massima delle opere;
- progettazione definitiva, consente una valutazione economica accurata dei tempi e dei costi di esecuzione;
- progettazione esecutiva, consente la cantierizzazione delle opere.

4.1 Il progetto preliminare

È un elaborato prodotto in fase di progettazione, che rappresenta il primo dei tre livelli di definizione nella stesura di un progetto definiti dalla normativa italiana.

Esso stabilisce le caratteristiche più significative degli elaborati dei successivi livelli di progettazione in funzione del tipo di intervento. Si compone di vari elementi, la cui presenza è tuttavia lasciata a discrezione del responsabile unico del procedimento, che ne valuta la necessità:

- relazione illustrativa;
- relazione tecnica;
- studio di prefattibilità ambientale;
- indagini geologiche, idrogeologiche ed archeologiche preliminari;
- planimetria generale e schemi grafici;
- prime indicazioni e disposizioni per la stesura dei piani di sicurezza;
- calcolo sommario della spesa.

Nel caso in cui il progetto debba essere posto a base di gara per concessioni di lavori pubblici o appalti concorso dovrà contenere anche:

- relazioni e grafici relativi alle indagini necessarie (di natura geologica, geotecnica, idrologica, idraulica e sismica);
- uno speciale capitolato prestazionale.

Se il progetto è posto a base di gara per l'affidamento di concessioni di lavori pubblici dovrà essere corredato da un piano economico e finanziario di massima.

4.2 Il progetto definitivo

È la seconda delle fasi in cui è comunemente suddiviso un progetto e la sua stesura.

Il progetto definitivo contiene tutti gli elementi necessari ai fini del rilascio della concessione edilizia, dell'accertamento di conformità urbanistica o di altro atto equivalente.

Rappresentando la fase successiva al progetto preliminare, è redatto sulla base delle indicazioni contenute in quest'ultimo, e delinea gli aspetti fondamentali del progetto esecutivo.

Esso comprende:

- una relazione descrittiva;
- le relazioni geologica, geotecnica, idrologica, idraulica e sismica;
- le relazioni tecniche specialistiche;
- i rilievi piano-altimetrici e lo studio di inserimento urbanistico;
- gli elaborati grafici;
- se previsto, uno studio di impatto ambientale o di fattibilità ambientale;
- calcoli preliminari di strutture ed impianti;
- disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici;
- piano particellare di esproprio;
- computo metrico estimativo;
- quadro economico.

Se il progetto è posto a base di gara, invece del disciplinare descrittivo e prestazionale è presente un capitolato speciale d'appalto ed uno schema di contratto, in cui è anche indicata la sede e i tempi di redazione del progetto esecutivo.

4.3 Il progetto esecutivo

È la terza ed ultima fase, rappresenta l'ingegnerizzazione di tutti gli interventi previsti nelle precedenti fasi di progettazione in ogni particolare, rappresentando così la fase tecnicamente più definita dell'intera progettazione. Da esso risulta esclusa solo la progettazione del cantiere e delle relative opere provvisorie.

Il progetto esecutivo è redatto sulla base delle direttive fornite dal progetto definitivo e si compone dei seguenti elementi:

- una relazione generale;
- le relazioni specialistiche;
- gli elaborati grafici, anche quelli relativi alle strutture, agli impianti ed alle opere di risanamento ambientale;
- i calcoli esecutivi delle strutture e degli impianti;
- i piani di manutenzione dell'opera nel suo complesso e nelle parti di cui è composto;
- i piani di sicurezza e coordinamento;
- il computo metrico estimativo definitivo ed il quadro economico;
- il cronoprogramma dei lavori;
- l'elenco dei prezzi unitari ed eventuali analisi economiche;
- il quadro dell'incidenza di manodopera;
- lo schema di contratto ed un capitolato speciale d'appalto.

5. ANALISI DEI PROGETTI PRELIMINARI

Segue la sintesi dedotta dai dati forniti da RFI.

5.1 Comune di San Vincenzo (LI)

Linea ferroviaria	Pisa - Roma
--------------------------	--------------------

Il Comune ha ricevuto il progetto preliminare in data 09/06/2010 per la sua valutazione..
 In data 04/10/2010, RFI ha inviato al Comune e alla Regione una nota di sollecito nella quale chiede al Comune di esprimere il proprio parere relativamente al progetto definitivo inviato entro i termini previsti dalla vigente normativa, con la stessa nota alla Regione si chiede l'intervento sostitutivo ai sensi della legge 447/95 in caso di inadempienza del Comune.
 In data 03/12/2010 il Comune ha risposto a RFI dicendo che il parere favorevole di competenza è sospeso finché RFI non accoglierà le osservazioni presentate, cioè la possibilità di altezze diverse, l'uso di barriere trasparenti ove possibile ecc.

Codice Intervento	Tipologia Intervento	Indice Regionale	Costo in €	Anno
049018024	Barriera	TO0017	5.288.000,00	3
049018029	Barriera	TO0055	2.600.000,00	5
<i>Costo totale:</i>			<i>7.888.000,00</i>	

Il censimento rileva 310 ricettori nell'ambito dell'area di studio.

Num. ricettori esposti complessivi interessati dall'intervento:	310
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	3

Linea Pisa – Roma: da km 254+612 a km 257+481 (CI 049018024) lato sinistro

Num. ricettori esposti complessivi:	138
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	0

Barriera	049018024 – piano RFI
Lunghezza (m)	2.869,0
Superficie (mq)	15.017,4
N. moduli	17

C.I: 049018024 – intervento progettato						
Barriera n.	Progressive di intervento		Lunghezza (m)	Standard RFI	Altezza da piano posa (m)	Superficie (mq)
	Da km	A km				
P-01	254+655	254+961	306	H1	3,29	1006,74

C.I: 049018024 – intervento progettato						
Barriera n.	Progressive di intervento		Lunghezza (m)	Standard RFI	Altezza da piano posa (m)	Superficie (mq)
	Da km	A km				
P-02	254+961	255+200	239	H5	5,45	1302,55
P-03	255+200	255+325	125	H0	2,80	350,00
P-04	255+325	255+875	550	H5	5,45	2997,50
P-05	255+875	256+013	138	H7	6,59	909,42
P-06	256+013	256+140	127	H2	3,78	480,06
P-07	256+140	256+285	145	H6	6,03	874,35
P-08	256+285	256+445	160	H5	5,45	872,00
P-09	256+445	256+523	78	H4	4,84	377,52
P-10	256+523	256+595	72	H7	6,59	474,48
P-11	256+595	256+800	205	H10	8,18	1676,90
P-12	256+800	256+906	106	H9	7,67	813,02
P-13	256+906	257+065	159	H3	4,15	659,85
P-14	257+065	257+225	167	H10	8,18	1366,06
P-15	257+225	257+294	69	H8	7,14	492,66
P-00	257+294	257+306	12	-	-	-
P-16	257+306	257+318	12	H4	4,84	58,08
P-00	257+318	257+424	106	-	-	-
P-17	257+424	257+481	57	H2	3,78	215,46
P-18*	257+481	257+505	24	H2	3,78	90,72
Totale B.A.			2.900 m			15.017,37 mq
Totale B.A esclusi i tratti P-00			2.739 m			

* barriera oltre la fine dell'intervento

Linea Pisa – Roma: da km 256+222 a km 257+201 (CI 049018029) lato destro

Num. ricettori esposti complessivi:	66
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	0

Barriera	049018029 – piano RFI
Lunghezza (m)	979,0
Superficie (mq)	8.589,0
N. moduli	6

C.I: 049018029 – intervento progettato						
Barriera n.	Progressive di intervento		Lunghezza (m)	Standard RFI	Altezza da piano posa (m)	Superficie (mq)
	Da km	A km				
D-01	256+222	256+385	163	H3	4,15	676,45
D-02	256+385	256+496	111	H0	2,80	310,80
D-03	256+496	256+590	94	H4	4,84	454,96
D-04	256+590	256+698	108	H8	7,14	771,12
D-05	256+698	256+857	159	H0	2,80	445,20
D-06	256+857	256+938	93	H5	5,45	506,85
D-07	256+938	257+004	66	H4	4,84	319,44
D-08*	257+000	257+201	201	H1 su muro	3,29	661,29
D-09**	257+200	257+287	87	H8	7,14	621,18
Totale B.A.			1.082 m			4.767,29 mq
Totale B.A esclusi i tratti D-00			1.082 m			

* barriera su muro

** barriera oltre la fine dell'intervento

Situazione post-operam

Gli interventi di mitigazione previsti dal piano di RFI consistono esclusivamente nell'inserimento di barriere antirumore.

Tenendo anche conto della concorsualità delle sorgenti stradali, come riportato negli allegati al progetto, la differenza tra i livelli di rumore post-operam simulati e i limiti normativi presso due scuole è dell'ordine di grandezza di 1 dB rientrando nell'intervallo di incertezza del modello.

Si raggiunge il risanamento della quasi totalità dei casi, fatta esclusione per 2 edifici residenziali (gli ultimi piani per un totale di 9 piani fuori terra) dove per altro non è possibile inserire barriere a causa della limitata disponibilità di spazio. Nel progetto si afferma inoltre che, vista la modesta entità del superamento, saranno verificati comunque i livelli di rumore esterni e interni successivamente alla messa in opera degli interventi.

L'altezza delle barriere va da un minimo di 3,29 m ad un massimo di 8,18 m.

Misure aggiuntive proposte

Si propone di installare smorzatori alla rotaia, la cui efficacia è indipendente dalla rugosità delle soles del materiale rotabile e del binario, per una lunghezza pari a 3 volte il tratto interessato, in corrispondenza dei seguenti interventi:

- tratto denominato P00, dove non è prevista la barriera, per una lunghezza pari a 1500 m;
- tratti D04 e D05, da affiancare alla realizzazione delle barriere.

Codice intervento	Lunghezza tratta (m)	Lunghezza intervento (m)	intervento	Riduzione (dB(A))	Costo* in €
049018024 - P00	500	500	smorzatori alla rotaia	2-3 dB(A)	125.000
049018029 - D04/D05	300	300	smorzatori alla rotaia	2-3 dB(A)	75.000
<i>Lunghezza totale intervento</i>		<i>800 m</i>	<i>Spesa totale</i>		<i>200000</i>

Il costo ipotizzato per gli smorzatori alla rotaia è 250.000,00 €/km.

Il costo dell'intervento è da intendersi per ciascuno dei due binari.

In previsione dell'omologazione di nuovi ceppi frenanti e del rinnovo del materiale rotabile, si propone di effettuare la molatura acustica della rotaia almeno su tutta la tratta urbana. L'efficacia di tale intervento è stimata in 8 dB(A) in funzione della rugosità della suola del materiale rotabile; il costo, esclusa la cantierizzazione e la gestione non ordinaria della linea, è stimato in 4000 euro/km. Tale misura potrebbe portare a limitare l'altezza delle barriere a 4,5 m secondo le indicazioni della Delib. G.R. 23 novembre 2004, n. 155 "Legge regionale 1 dicembre 1998 n. 89, articolo 2, comma 3. Approvazione dell'elenco delle priorità degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore per l'infrastruttura ferroviaria di competenza di Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. Stralcio relativo all'anno 2004". La valutazione del beneficio economico della riduzione dell'altezza delle barriere implementando la molatura acustica potrà essere effettuata solo a seguito di un'ulteriore indagine modellistica non oggetto del presente lavoro.

5.2 Comune di Arezzo (AR)

Linea ferroviaria	Roma – Firenze + intercon.
--------------------------	-----------------------------------

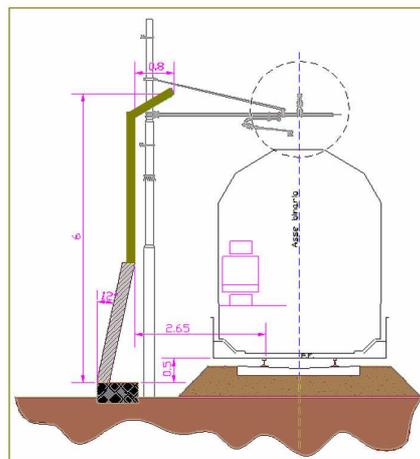
Il progetto preliminare predisposto da RFI è stato inviato al Comune di Arezzo il 17/06/2010. Il Comune ha comunicato che ne sta predisponendo l'esame. Il progetto preliminare è stato inviato anche alla Regione.

Il 04/10/2010, RFI ha inviato al Comune e alla Regione una nota di sollecito nella quale chiede al Comune di esprimere il proprio parere sul progetto preliminare inviato, entro i termini previsti dalla vigente normativa. Nella stessa nota si chiede alla Regione l'intervento sostitutivo ai sensi della legge 447/95 in caso di inadempienza del Comune.

Il progetto prevede 3 tipologie di barriere:

- barriera standard RFI tipo "HS" (*heavy shell*);
- barriera in corrispondenza dei muri esistenti;
- barriera in corrispondenza dei sottopassi esistenti.

Rappresentazione schematica di una barriera antirumore standard di tipo "HS"



Codice Intervento	Tipologia Intervento	Indice Regionale	Costo in €	Anno
051002057	Barriera	TO001	6.725.000,00	1
051002041	Barriera	TO0117	339.000,00	1
051002022	Barriera	TO0020	1.894.000,00	4
051002056	Barriera	TO0026	3.544.000,00	4
051002044	Barriera	TO0415	557.000,00	4
<i>Costo totale:</i>			<i>13.059.000,00</i>	

Num. ricettori esposti complessivi:	240
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	23

Linea Roma – Firenze + intercon: da km 228+190 a km 228+576 (CI 051002041) lato dispari

Num. ricettori esposti complessivi:	3
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	0

Barriera	051002041
Lunghezza (m)	386,0
Superficie (mq)	270,0
N. moduli	1

Linea Roma – Firenze + intercon: da km 226+583 a km 228+659 (CI 051002057) lato pari

Num. ricettori esposti complessivi:	127
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	18

Barriera	051002057
Lunghezza (m)	2.217,0
Superficie (mq)	15327,0
N. moduli	6

Linea Roma – Firenze + intercon: da km 226+518 a km 227+372 (CI 051002056) lato dispari

Num. ricettori esposti complessivi:	54
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	2

Barriera	051002056
Lunghezza (m)	744,0
Superficie (mq)	7.340,5
N. moduli	2

Linea Roma – Firenze + intercon: da km 225+218 a km 225+562 (CI 051002044) lato dispari

Num. ricettori esposti complessivi:	2
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	0

Barriera	051002044
Lunghezza (m)	170,0
Superficie (mq)	459,0
N. moduli	1

Linea Roma – Firenze + intercon: da km 224+940 a km 226+285 (CI 051002022) lato pari

Num. ricettori esposti complessivi:	54
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	3

Barriera	051002022
Lunghezza (m)	1375,0
Superficie (mq)	4564,3
N. moduli	7

Situazione post-operam

Nella situazione post-operam simulata i ricettori non risanati sono 41 (di cui 15 sensibili).

ID Ricettore	Destinazione d'uso	Supero residuo post-operam
1005	sensibile (scuola)	6.5
1018	residenziale	5.8
1021	Residenziale	6.8
1027	Residenziale	3.3
1028	Residenziale	4.5
1029	Residenziale	0.8
1037	Residenziale	5.5
1046	Residenziale	3.8
1047	Residenziale	4.6
2065	sensibile (scuola)	2.3
2078	Residenziale	5.3
2079	Residenziale	0.9
2080	Residenziale	4.1
2084	Residenziale	4.0
2088	Residenziale	7.3
2089	Residenziale	11.4
2090	Residenziale	10.9
2091	Residenziale	4.6
2092	Residenziale	6.1
2093	Residenziale	8.6
2013	Residenziale	0.9
2112	Residenziale	2.5
2114	Residenziale	1.0
2120	Residenziale	2.3
2126	Residenziale	6.2

ID Ricettore	Destinazione d'uso	Supero residuo post-operam
2127	Residenziale	9.1
2128	Residenziale	5.9
2129	Residenziale	2.0
2134	sensibile (scuola)	10.2
2135	sensibile (scuola)	7.5
2136	sensibile (scuola)	12.6
2137	sensibile (scuola)	8.4
3002	sensibile (sanità)	13.9
4004	sensibile (scuola)	2.5
4005	sensibile (scuola)	0.5
4006	sensibile (sanità)	13.1
4007	sensibile (sanità)	11.6
4008	sensibile (scuola)	1.2
4009	sensibile (scuola)	0.6
4012	sensibile (scuola)	0.5
4014	sensibile (scuola)	0.7

Misure aggiuntive proposte

Per risanare anche i 41 edifici con costante superamento dei limiti di legge, si propone l'installazione degli smorzatori alla rotaia in corrispondenza dei seguenti interventi:

- in corrispondenza del tratto in cui sono previste le barriere con codice CI 051002057 e CI 051002056 , che insistono sullo stesso tratto, uno sul lato dispari e l'altro sul lato pari.
- in corrispondenza del tratto in cui è prevista la barriera con codice CI 051002041.

Codice intervento	Lunghezza tratta (m)	intervento	Riduzione (dB(A))	Costo* in €
051002057 (lato pari) 051002056 (lato dispari)	2,056	Smorzatori alla rotaia	2-3	514.000,00
051002041 – (lato dispari)	386	Smorzatori alla rotaia	2-3	96.500,00
<i>Lunghezza totale intervento</i>	<i>2.442m</i>	<i>Spesa totale</i>		<i>610.500,00</i>

Il costo ipotizzato per la molatura acustica è 4.000,00 €/km

Poiché con la sola installazione degli smorzatori, non è possibile risanare completamente la tratta, si propone di prevedere anche la molatura acustica dei binari, auspicando nel tempo anche la progressiva sostituzione del parco macchine con macchine di nuova generazione con le sole delle ruote più lisce e meno impattanti sui binari.

Codice intervento	Lunghezza tratta (m)	Lunghezza intervento (m)	intervento	Abbassamento in dB	Costo* in €
051002057 (lato pari) 051002056 (lato dispari)	2,056	4.112	Molatura acustica	8	16.448,00
051002041 – (lato dispari)	386	772	Molatura acustica	8	3.08800
<i>Lunghezza totale intervento</i>	<i>4.884 m</i>	<i>Spesa totale</i>		<i>19.536,00</i>	

Il costo ipotizzato per la molatura acustica è 4.000,00 €/km, al netto delle operazioni di cantiere e di interruzione del traffico ordinario sulla linea ferroviaria.

Il costo degli interventi proposti è relativo a ciascuno dei binari, ma i tratti in questione sono tratti cittadini in cui aumenta il numero di binari e sono presenti dei binari destinati alle sole manovre, sicché per il calcolo totale dei prezzi si consiglia di stimare a 4 i binari interessati dagli interventi.

Ipotizzando un risanamento che può ottimisticamente arrivare fino a 8 dB, potrebbero restare alcuni ricettori esposti a livelli superiori ai limiti. Tali ricettori potrebbero essere risanati con degli interventi di manutenzione straordinaria sui giunti tra i binari: quest'azione permetterebbe di ottenere un ulteriore beneficio di 3 dB, che può arrivare a 5 dB nel caso di saldatura dei giunti stessi. (I costi si aggirano ai 200-400 € a giunto per la manutenzione e a 600 € a giunto per la saldatura. I giunti in genere si collocano a ogni 12-48 m, a seconda del tipo UNI di binario).

5.3 Comune di Chiusi (SI)

Linea ferroviaria	Chiusi - Empoli
Linea ferroviaria	Direttissima Firenze - Roma

RFI ha presentato il progetto preliminare nel 2006.

Gli interventi previsti sono i seguenti:

Codice Intervento	Tipologia Intervento	Indice Regionale	Costo in €	Anno
052011029	Barriera	TO0127	1.630.000,00	10
052011022	Barriera	TO0243	566.000,00	13
052011020	Barriera	TO0261	298.000,00	13
052011031	Barriera	TO0269	264.000,00	13
<i>Costo totale</i>			2.758.000,00	

Chiusi scalo: da km 0+054 a km 0+523 (CI 052011031)

Num. ricettori esposti complessivi:	?
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	?

Barriera	052011031
Lunghezza (m)	469,0
Superficie (mq)	1.641,5
N. moduli	?

Chiusi scalo: da km 163+140 a km 163+888 (CI 052011029)

Num. ricettori esposti complessivi:	?
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	?

Barriera	052011029
Lunghezza (m)	748,0
Superficie (mq)	2.618,0
N. moduli	?

Linea Firenze – Empoli: da km 142+720 a km 143+022 (CI 052011029)

Num. ricettori esposti complessivi:	?
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	?

Barriera	052011029
Lunghezza (m)	302
Superficie (mq)	1.057,0
N. moduli	?

Linea Firenze – Roma: da km 148+338 a km 148+678 (CI 052011020)

Num. ricettori esposti complessivi:	?
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	?

Barriera	CI 052011020
Lunghezza (m)	340,0
Superficie (mq)	1.190,0
N. moduli	?

Linea Firenze – Roma: da km 150+717 a km 150+955 (CI 052011022)

Num. ricettori esposti complessivi:	?
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	?

Barriera	CI 052011022
Lunghezza (m)	238,0
Superficie (mq)	833,0
N. moduli	?

Linea Firenze – Roma: da km 151+023 a km 151+255 (CI 052011022)

Num. ricettori esposti complessivi:	?
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	?

Barriera	CI 052011022
Lunghezza (m)	232,0
Superficie (mq)	812,0
N. moduli	?

Secondo il Piano di RFI, non risultano ricettori soggetti a superamento dei limiti dopo gli interventi di mitigazione previsti, ovvero:
barriere standard RFI tipo “LS” (*light shell*); l’altezza delle barriere proposte è di 3,5 m.

La relazione di RFI non fornisce alcuna indicazione sulla presenza di ricettori sensibili, o più precisamente, nelle tavole, vengono definiti erroneamente sensibili tutti i ricettori nella fascia di pertinenza dell’infrastruttura, non facendo alcuna distinzione tra edifici residenziali, scolastici o ospedalieri.

Situazione post-operam

A seguito degli interventi di risanamento non risultano, secondo il piano di RFI, ricettori esposti a livelli superiori ai limiti vigenti.

Misure alternative proposte

La relazione del clima acustico post-operam, in cui non sono segnalati i ricettori sensibili, evidenzia come secondo la simulazione non ci siano ricettori esposti a livelli superiori ai limiti, a seguito degli interventi previsti nel risanamento.

I livelli più elevati, dallo studio in questione, sono soprattutto quelli notturni; l’entità del superamento ante-operam arriva fino a 11,3 dB, con una media di circa 6 dB.

Non si propongono dunque misure alternative, dato che secondo la simulazione presentata, le barriere proposte riescono a risanare le tutte situazioni compromesse. Si consiglia comunque un approfondimento della simulazione, dato che il report di RFI non entra nei dettagli, fornendo una descrizione piuttosto vaga.

NOTA BENE:

Nella nota riepilogativa dello stato di attuazione degli interventi di contenimento ed abbattimento del rumore ferroviario previsti dal piano presentato da RFI di cui all’intesa in Conferenza Unificata repertorio atti n. 757/CU del 1 luglio 2004 come modificato dalla Regione Toscana con proprie deliberazioni: DCR n. 155 del 23/11/2004, DCR n. 112 del 09/11/2005 e DCR n. 12 del 15/02/2006., si legge che il Comune di Chiusi ha approvato anche gli interventi con codice 052011028 e 052011021, per una spesa totale (compresi gli interventi proposti dal piano) di € 5.210.000.

6. ANALISI DEI PROGETTI DEFINITIVI

6.1 Comune di Livorno (LI)

Linea ferroviaria	Lunghezza totale tratta
Pisa - Roma	1500 m

Il sito di Livorno - via del Litorale si estende per una lunghezza di 1.500 m all'interno della tratta ferroviaria che attraversa il Comune.

Il progetto definitivo è stato inviato al Comune di Livorno ed alla Regione Toscana da RFI il 01/06/2010. Il Comune ha comunicato il 07/06/2010 che stava procedendo all'esame del piano.

Il 04/10/2010, RFI ha inviato al Comune e alla Regione una nota di sollecito nella quale chiede al Comune di esprimere il proprio parere sul progetto definitivo inviato entro i termini previsti dalla vigente normativa, nella stessa nota alla Regione si chiede l'intervento sostitutivo ai sensi della legge 447/95 in caso di inadempienza del Comune.

Il 02/11/2010, il Comune invia una nota a RFI, e alla Regione per conoscenza, nella quale dice che l'Unità Organizzativa Ambiente del Comune non ravvede motivi ostativi, ed esprime parere favorevole al progetto di RFI, a condizione che le modalità di esecuzione degli interventi rispettino quanto indicato nella delibera di CR Toscana n. 155/2004 (altezza massima barriere inferiore a 4,5 m).

Gli interventi previsti sono stati anticipati con la delibera di CR Toscana n. 12/2006 in quanto compresi nel protocollo d'intesa tra Regione Toscana e RFI del 2001:

Il Piano in nostro possesso, che nella relazione acustica riporta integralmente un documento di ARPAT e uno più aggiornato di Socip, analizza soltanto 4 interventi, in una zona circoscritta (via del Litorale) del Comune di Livorno, ed aggiunge un intervento al ricettore.

Il documento di ARPAT individua un ricettore esposto al superamento dei limiti dopo l'intervento di bonifica, mentre il documento di Socip, che, studiando la concorsualità delle sorgenti stradali e ferroviaria, innalza di poco i limiti imposti a quest'ultima, non individua nessun ricettore esposto post-operam.

Non si capisce l'utilità di riportare nel Piano due documenti, uno più aggiornato dell'altro, in palese contraddizione tra loro come sigle degli interventi e altezze degli stessi.

Num. ricettori esposti complessivi:	29
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	1

Codice Intervento	Tipologia Intervento	Indice Regionale	Costo	Anno
049009005	Barriera	TO0075	2.973.000,00	8
049009006	Barriera	TO0158	1.948.000,00	11
049009022	Barriera	TO0212	1.545.000,00	12
049009021	Barriera	TO0543	386.000,00	15
049009007	Diretto	TO0693	3.000,00	15
<i>Costo totale</i>			<i>6.855.000,00</i>	

RFI ha individuato 4 interventi diretti più 1 sul ricettore.

La lunghezza totale delle barriere è stimata 2150 m, mentre la loro altezza è di 3 m secondo la prima ipotesi, mentre nella seconda ipotesi varia da 3 a 6 m sul piano di posa (ricordiamo che la già citata delibera CR Toscana n. 155/2004 prevede l'altezza massima delle barriere fissata a 4,5 m).

Le barriere saranno barriere standard RFI tipo "HS" (*heavy shell*);

Linea Pisa – Roma: da km 19+968 a km 20+903 (CI 049009005) lato sinistro (orig Roma)

Num. ricettori esposti complessivi:	37
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	0

Barriera	049009005
Lunghezza (m)	935,0
Superficie (mq)	8.493,0
N. moduli	7

Linea Pisa – Roma: da km 21+198 a km 21+796 (CI 049009006) lato sinistro (orig Roma)

Num. ricettori esposti complessivi:	16
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	0

Barriera	049009006
Lunghezza (m)	598,0
Superficie (mq)	5.566,0
N. moduli	7

Linea Pisa – Roma: da km 21+315 a km 21+545 (CI 049009021) lato destro (orig Roma)

Num. ricettori esposti complessivi:	2
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	0

Barriera	049009021
Lunghezza (m)	230,0
Superficie (mq)	1.104,0
N. moduli	1

Linea Pisa – Roma: da km 21+699 a km 21+596 (CI 049009022) lato destro (orig Roma)

Num. ricettori esposti complessivi:	19
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	0

Barriera	049009022
Lunghezza (m)	897,0
Superficie (mq)	4.416,0
N. moduli	4

Il piano di RFI individua 4 interventi, denominati

- Tratto 1 (corrisponde a una piccola parte della barriera antirumore del piano di risanamento identificata dal codice CI 04009006, ad un tratto della barriera CI 04009022 e all'intervento diretto al recettore di codice CI 04009007);
- Tratto 2 (corrisponde alla barriera CI 04009021);
- Tratto 3 (corrisponde alla barriera CI 04009006);
- Tratto 4 (corrisponde alla barriera CI 04009005 ed a una parte della barriera antirumore del piano di risanamento identificata dal codice CI 04009006, oltre ad un tratto della barriera CI 04009006).

Tratto	Segmento	Altezza barriera
1	AB	3 m
	CD	4 m
	EF	3,5 m
2	AB	4,5 m
	CD	5 m
3	AB	4,5 m
	BC	7,5 m
4	AB	4,5 m
	BC	4 m

Riportiamo a titolo di esempio il L_{Aeq} notturno di un singolo ricettore con mantenimento di un superamento dei limiti di legge, preso a titolo di esempio per il tratto 2.

Ante-operam (dB)	ipotesi 1 H = 3 m	ipotesi 2 H = 4 m	ipotesi 3 H = 5 m	ipotesi 4 H = 6 m
Leq = 66.9 dB	Leq = 65,0 dB	Leq = 63.7 dB	Leq = 63.0 dB	Leq = 62.3 dB

Misure aggiuntive proposte

Codice intervento	Lunghezza tratta (m)	Lunghezza intervento (m)	intervento	Abbassamento in dB	Costo* in €
04009021	25	25	Smorzatori alla rotaia	2-3	6.250,00
04009006	70	70	Smorzatori alla rotaia	2-3	17.500,00
<i>Lunghezza totale intervento</i>		95	<i>Spesa totale</i>		23.750,00

Il costo ipotizzato per gli smorzatori alla rotaia è 250.000,00 €/km.

Il costo è relativo a ciascuno dei due binari.

In aggiunta potrebbe essere eseguita la manutenzione straordinaria dei giunti (il costo è circa 300 €/giunto)

NOTA BENE:

Gli interventi previsti sono stati anticipati con la delibera di CR n. 12/2006 in quanto compresi nel protocollo d'intesa tra regione e RFI del 2001. Tali interventi risultano essere:

- 1) 049009001
- 2) 049009017
- 3) 049009005 (nel progetto definitivo)
- 4) 049009010
- 5) 049009006 (nel progetto definitivo)
- 6) 049009022 (nel progetto definitivo)
- 7) 049009024
- 8) 049009021 (nel progetto definitivo)
- 9) 049009025

che corrispondono a quelli previsti nel piano inviato da RFI, ai sensi del DM 29/11/2000, come modificato dalle deliberazioni di CRT di approvazione del piano, per un importo totale stimato di 20.798.000 euro.

7. ANALISI DEI PROGETTI ESECUTIVI

7.1 Comune di Figline Valdarno (FI)

Linea ferroviaria	Roma - Firenze
--------------------------	-----------------------

L'area di indagine si estende per una lunghezza complessiva di circa 4,5 chilometri della linea storica Roma – Firenze a cavallo della stazione di Figline Valdarno.

Il progetto esecutivo è stato approvato dal Comune in data 17/05/2006 e da informazioni ottenute da RFI risulta che i lavori siano stati regolarmente affidati, ma non sono stati posti in essere, in quanto la procedura di gara sarebbe stata impugnata dalla ditta classificata in seconda posizione di graduatoria e si è in attesa di un pronunciamento da parte del TAR.

Gli interventi proposti sono i seguenti:

Codice Intervento	Tipologia Intervento	Indice Regionale	Costo	Anno
048016020	Barriera	TO0035	3.955.000,00	5
048016021	Barriera	TO0071	2.165.000,00	5
048016009	Barriera	TO0191	617.000,00	11
048016018	Barriera	TO0259	522.000,00	13
<i>Costo totale</i>			<i>7.259.000,00</i>	

Essi riguardano la posa di 3 tipologie di barriere:

- barriera h=7.50 m dal p.f. con muro con base in c.a. inclinata (tipo 1);
- barriera h=5.50 m dal p.f. con muro con base in c.a. inclinata (tipo 1);
- barriera h=7.50 m dal p.f. con muro con base in c.a. dritta (tipo 2);
- barriera h=5.50 m con muro con base in c.a. dritta (tipo 3).

Nel progetto definitivo manca il documento “progetto acustico”, mentre è presente solo la “nota tecnica integrativa al progetto acustico”. Non è possibile dunque individuare i ricettori esposti post-operam né i corrispondenti livelli di esposizione.

Il risanamento considera le aree e gli interventi identificati con i codici: C.I.48016009 (a cui corrisponde l'int. 1 del progetto di RFI), C.I.48016018 (a cui corrispondono gli int. 2-3-4-5-6), C.I.48016020 (a cui corrispondono gli int. 7-8-9-10-11-12-13-14), e C.I.48016021 (a cui corrisponde l'int. 15).

Linea Roma – Firenze: da km 270+142 a km 270+551 (CI 048016009) lato sinistro (orig Roma)

Num. ricettori esposti complessivi:	4
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	0

Barriera	048016009
Lunghezza (m)	177,0
Superficie (mq)	354,0
N. moduli	1

Barriera n.	Lunghezza (m)	Altezza da piano posa (m)	Superficie (mq)
15	177,0	4,0	354,0

Linea Roma – Firenze + intercon: da km 272+812 a km 273+122 (CI 048016018) lato destro (orig Roma)

Num. ricettori esposti complessivi:	4
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	0

Barriera	048016018
Lunghezza (m)	208,0
Superficie (mq)	728,0
N. moduli	1

Barriera n.	Lunghezza (m)	Altezza da piano posa (m)	Superficie (mq)
01	208,0	5,50	728,0

Linea Roma – Firenze + intercon: da km 272+834 a km 274+793 (CI 048016020) lato sinistro (orig Roma)

Num. ricettori esposti complessivi:	51
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	1

Barriera	048016020
Lunghezza (m)	1.959,0
Superficie (mq)	10.988,0
N. moduli	8

Barriera n.	Lunghezza (m)	Altezza da piano posa (m)	Superficie (mq)
07	63,0	3,50	94,50
08	309,0	7,50	1.699,50
09	22,0	3,50	33,0
10	109,0	5,50	381,5
11	157,0	7,50	863,5
12	213,0	5,50	745,5
13	168,0	7,50	924,0
14	699,0	5,50	2.446,5

Linea Roma – Firenze + intercon: da km 273+720 a km 274+607 (CI 048016021) lato destro (orig Roma)

Num. ricettori esposti complessivi:	32
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	0

Barriera	048016021
Lunghezza (m)	887,0
Superficie (mq)	6.185,0
N. moduli	5

Barriera n.	Lunghezza (m)	Altezza da piano posa (m)	Superficie (mq)
02	261,0	5,50	913,5
03	128,0	7,50	704,5
04	152,0	7,50	836,5
05	150,0	5,50	525,5
06	345,0	7,50	1.897,5

Misure aggiuntive proposte

Codice intervento	Lunghezza tratta (m)	Lunghezza intervento (m)	intervento	Abbassamento in dB	Costo* in €
048016021 n.06 048016020 n.08	345	690	Molatura acustica	8	2.760
048016021 n.05	150	162	Molatura acustica	8	648,00
048016021 n.04 048016020 n.11	152	152	Molatura acustica	8	608,00
048016021 n.03 048016020 n.12	142	142	Molatura acustica	8	568,00
048016021 n.02 048016020 n.13	261	522	Molatura acustica	8	2.088,00
048016018 n.01 048016020 n.14	208	672	Molatura acustica	8	2.688,00
<i>Lunghezza totale intervento</i>		<i>2.340,0</i>	<i>Spesa totale</i>		<i>9.360,00</i>

Il costo ipotizzato per la molatura acustica è 4.000,00 €/km, al netto delle opere di cantierizzazione e dell'interruzione del traffico ordinario lungo la linea ferroviaria.

Il costo dell'intervento è inteso per singolo binario; ricordando che i tratti 4, 5, 6, 7, 8, 11 presentano un doppio binario.

Le lunghezze degli interventi sono state calcolate in modo da evitare sovrapposizioni dei prolungamenti dei tratti in cui si prevede la molatura.

Data la mancanza di informazioni puntuali sui livelli di esposizione, si propone di molare in corrispondenza di tutti gli interventi programmati da RFI, esclusi quelli in cui le barriere sono previste di 3.5 o di 4 m. Il beneficio apportato dalla molatura acustica, stimabile intorno agli 8 dB(A), potrebbe consentire di mettere in opera barriere di altezza inferiore ai 4 m, riducendo così l'impatto paesaggistico, garantendo lo stesso livello di abbattimento del rumore. La riduzione dell'altezza delle barriere potrebbe essere quantificata in base al rapporto costi-benefici solo a seguito di una modellazione acustica.

NOTA BENE:

Nella documentazione riguardante gli interventi forniti dalla Regione Toscana compare anche l'intervento CI 048016003, mentre nel Piano di RFI tale intervento non viene menzionato, poiché erroneamente assegnato al Comune di Reggello.

Nella lettera di RFI del 05/07/2010 indirizzata al Ministero e alle Regioni con il resoconto dello stato degli interventi di cui all'articolo 6, comma 1 del DM 29/11/2000 è stato considerato il solo intervento con numero di codice 048016003 in quanto la suddetta nota non tiene conto della modifica all'elenco delle priorità apportata dalla Regione Toscana.

Con nota del 29/12/2010 il Sindaco di Figline Valdarno sollecita l'intervento della Regione al fine di sbloccare la situazione in merito ai tempi di intervento.

Il totale di spesa compreso l'intervento CI 048016003 (barriera la cui realizzazione è prevista dopo 3 anni dalla presentazione del Piano di RFI del 2003) è 7.643.000,00 €.

7.2 Comune di Prato (PO)

Il Comune ha approvato il progetto esecutivo degli interventi con Delibera della Giunta Municipale n. 392 del 05/08/2008 e lo ha trasmesso a RFI. RFI nella nota del 05/07/2010 comunica che gli interventi sono in fase di realizzazione, mentre il Comune conferma alla data del 14/02/2010 il mancato inizio dei lavori.

Linea ferroviaria			Roma - Firenze	
Codice Intervento	Tipologia Intervento	Indice Regionale	Costo	Anno
100005015	Barriera	TO0078	1.705.000,00	4
100005023	Diretto	TO0604	1.008.000,00	15
100005026	Barriera	TO0019	1.475.000,00	4
100005033	Barriera	TO008	5.191.000,00	2
100005025	Barriera	TO0094	1.876.000,00	2
<i>Costo totale:</i>			<i>11.255.000,00</i>	

Il progetto in esame considera le aree e gli interventi identificati con i codici di piano: C.I.1000005015 (a cui corrisponde l'intervento denominato n.15 nel presente progetto esecutivo), C.I. 1000005023 (a cui non corrisponde nessun intervento nel progetto esecutivo) C.I. 1000005026, (a cui corrisponde l'intervento n.1 del P.E.) C.I. 1000005033 (a cui corrispondono gli interventi 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13 e14 del P.E.) e C.I. 1000005025. (a cui corrispondono gli interventi 15,16,17,18,19 e 20 del P.E.).

Verranno impiegate 3 tipologie di barriere:

- barriera standard RFI tipo "HS";
- barriera in corrispondenza dei muri esistenti;
- barriera in corrispondenza dei sottopassi esistenti.

Nel progetto esecutivo di Prato mancono informazioni relative ai livelli di pressione sonora misurati ed ai superamenti residuali post-intervento, per cui non è possibile ipotizzare interventi complementari o alternativi.

Linea Viareggio – Prato: da km 15+487 a km 16+429 (CI 100005015) lato destro (orig FI Rifredi)

Num. ricettori esposti complessivi:	40
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	0

Barriera	051002057
Lunghezza (m)	248,0
Superficie (mq)	1.364,0
N. moduli	1

Linea Bologna - Firenze: da km 12+995 a km 13+761 (CI 100005025) lato sinistro (orig FI Rifredi)

Num. ricettori esposti complessivi:	17
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	0

Barriera	100005025
Lunghezza (m)	559,0
Superficie (mq)	2.494,5
N. moduli	5

Linea Bologna – Firenze: da km 15+035 a km 16+774 (CI 100005026) lato sinistro (orig FI Rifredi)

Num. ricettori esposti complessivi:	4
--	----------

Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	1
---	---

Barriera	051002026
Lunghezza (m)	739,0
Superficie (mq)	4.907,0
N. moduli	2

Linea Bologna – Firenze: da km 373+221 a km 375+720 (CI 100005033) lato sinistro (orig FI SMN)

Num. ricettori esposti complessivi:	112
Ricettori sensibili (scuole ospedali etc.):	1

Barriera	051002033
Lunghezza (m)	2.031,0
Superficie (mq)	16.165,0
N. moduli	13

Riassunto degli interventi di risanamento previsti dal piano di RFI

N. intervento (piano RFI) (*)	Numero intervento (**)	Tipologico Barriera (***)	Sviluppo [m]	Altezza Barriera [m] da P.F. Risanamento 1° fase	Altezza Barriera [m] da P.F. Risanamento Totale	Progressiva inizio [km]	Progressiva Fine [km]	Lato Binario
10005033	1	1	59	5,5	5,5	13+004	13+063	DISPARI
	2a	1	173	3,5	3,5	13+063	13+236	DISPARI
	2b	2	43	3,5	3,5	13+236	13+279	DISPARI
	3a	2-3	139	5,5	5,5	13+279	13+418	DISPARI
	3b	2	131	7,5	7,5	13+448	13+579	DISPARI
	4	2	77	3,5	3,5	13+579	13+656	DISPARI
	5	2	118	6,0	6,0	13+693	13+811	DISPARI
	6a	2	43	5,0	5,0	13+837	13+880	DISPARI
	6b	1	22	5,0	5,0	13+880	13+902	DISPARI
	7	1	67	5,5	7,5	13+902	13+969	DISPARI
	8	1	44	4,5	4,5	13+969	14+013	DISPARI
	9	1	176	5,0	5,0	14+082	14+259	DISPARI
	10a	1	43	5,5	7,5	14+259	14+302	DISPARI
	10b	2-3	29	5,5	7,5	14+302	14+331	DISPARI
10c	1	239	5,5	7,5	14+331	14+570	DISPARI	
11	1	27	3,5	3,5	14+570	14+597	DISPARI	
12	1	127	6,0	6,0	14+597	14+724	DISPARI	
13a	1	300	3,5	3,5	14+724	15+024	DISPARI	
13b	3	16	3,5	3,5	15+024	15+040	DISPARI	
13c	1	31	3,5	3,5	15+040	15+071	DISPARI	
14(****)	1	127 (52)	4,5	4,5	15+071	15+198	DISPARI	
10005015	15	1	248	5,5	5,5	16+144	16+392	DISPARI
10005025	16a	1	19	4,5	7,5	13+040	13+021	PARI
	16b	2	23	4,5	7,5	13+021	12+998	PARI
	17	1	133	3,5	3,5	13+313	13+180	PARI
	18	2	58	6,5	6,5	13+371	13+313	PARI
	19	2	49	5,5	7,5	13+464	13+415	PARI
	20a	1	90	3,5	3,5	13+741	13+651	PARI
20b	2	187	3,5	3,5	13+651	13+464	PARI	
10005026	21	1	268	5,5	5,5	15+355	15+087	PARI
10005023	nessuno							

(*) NUMERO INTERVENTO DI RISANAMENTO PREVISTO DAL PIANO RFI (**) NUMERAZIONE INTERVENTI NEL PRESENTE PROGETTO ESECUTIVO
(***) Tipologico 1- barriera standard RFI tipo HS Tipologico 2 - barriere in corrispondenza di muri esistenti Tipologico 3- barriere in corrispondenza di soffiopassi esistenti
(****) Nel presente appalto è prevista la sola realizzazione del tratto di 52 m compreso tra pr.15+071 e 15+122, il restante tratto di 76 m, compreso tra pr.15+122 e 15+198, è stato stralciato e verrà realizzato successivamente

Misure aggiuntive proposte

Anche in questo caso, al progetto esecutivo non è allegata la relazione acustica, per cui non si possono fare considerazioni sui livelli di pressione sonora post-operam. Si consiglia comunque di eseguire la molatura acustica dei binari su alcuni tratti, in modo da abbassare l'altezza delle barriere, come specificato meglio in seguito.

Trovandosi gli interventi in zona stazione e zone ad essa limitrofe, dato l'elevato numero di binari, la molatura acustica degli stessi risulta onerosa. Tale intervento viene pertanto consigliato dove si hanno due binari che corrono in parallelo, ovvero dal km 12+998 al km 14+013, per un totale di 1.015 km.

Ipotizzando un costo di € 4.000 al km, al netto delle opere di cantierizzazione e dell'interruzione del traffico ordinario lungo la linea ferroviaria, l'intervento di molatura viene a costare 4.060 €, per ciascuno dei due binari.

NOTA BENE:

Tra gli interventi programmati compare anche l'intervento diretto al recettore CI 100005007. La spesa totale stimata (compreso anche questo intervento) è 10.352.000,00 €.

8. MISURE DI CONTENIMENTO DEL RUMORE FERROVIARIO

L'abbattimento del rumore ferroviario è sicuramente un'azione complessa che deve prevedere l'impegno congiunto di diversi soggetti. Il problema deve essere affrontato con un approccio multi-disciplinare, tenendo conto dei seguenti aspetti:

- introduzione di regolamentazioni obbligatorie, in particolare per quanto riguarda i limiti di emissione e immissione;
- introduzione di incentivi economici e operativi per i veicoli a bassa emissione;
- regolamentazione degli appalti;
- pianificazione del territorio;
- partecipazione a programmi europei di abbattimento del rumore;
- sviluppo di programmi nazionali di ricerca sulla tematica del rumore;
- informazione del pubblico.

Rilevanza delle diverse sorgenti di rumore ferroviario

<i>Sorgente di rumore</i>	<i>Situazione delle emissioni</i>				
	Pass-by (V in km/h)			Nelle stazioni	In manovra
	Bassa velocità V < 60	Media velocità 60 < V < 250	Alta velocità V > 250		
Rotolamento	+	++	++	+	
Trazione e sistemi ausiliari	++	+		++	++
Aerodinamica			++		
Cigolio in curva	+			++	++
Frenate	+			++	++
Giunti, Ponti	+	+		+	++
+ rilevante ++ molto rilevante					

Le misure proposte da RFI, nei suoi piani di abbattimento del rumore, sono o interventi passivi, al ricettore o più comunemente lungo le vie di propagazione, come le barriere. La maggiore efficacia degli interventi si ottiene quando questi sono operati sulla sorgente, ovvero sui componenti emissivi, cioè il sistema treno e il sistema binario. È lo stesso DM 29/11/2000 che indica una predilezione nell'ordine degli interventi di risanamento, partendo da quelli sulla sorgente, passando a quelli sulla via di propagazione fino a quelli rivolti al ricettore.

8.1 Principali misure applicabili al binario

Misure di riduzione specifiche applicabili ai binari:

- molatura acustica,
- rotaie annegate,
- smorzatori di vibrazione della rotaia,
- suola smorzante sottorotaia,
- rotaie in piattaforma resiliente per i ponti,
- interventi sugli scambi,
- interventi di riduzione del rumore in curva,
- interventi anti-cigolio.

8.2 Elenco non esaustivo delle misure di risanamento sul mercato

Segue ora un resoconto dei principali studi europei sul rumore ferroviario ed una panoramica delle soluzioni di abbattimento proposte.

Misure di riduzione del rumore e benefici attesi in termini di abbassamento dei livelli sonori, da Noise Emission from Rail Traffic [VTI Rapport 559, 0347-6030]

	<i>Misura</i>	<i>Riduzione Potenziale in dB(A)</i>
Ruvidezza di ruota e binario	Molature delle ruote	10
	Molatura dei binari	10
	Cuscinetti dei freni in materiali compositi	8
Assorbitori su ruota e binario	Assorbitori alle ruote	5
	Assorbitori sui binari	5
	Rigidezza dei cuscinetti	5
Schermi vicino a ruota e binari	Schermi sovrapposti	10
	Schermi con aperture	3

Misure di riduzione del rumore: costi e benefici attesi in termini di abbassamento dei livelli sonori, da Noise Emission from Rail Traffic [VTI Rapport 559, 0347-6030]

<i>Misura</i>	<i>Costo</i>	<i>Efficacia in dB(A)</i>
Molatura acustica	50 euro / m per 30 anni	2 – 8
Traversine bi-blocco	Equivalente a quelle tradizionali	2
Suole smorzatrici	Equivalente a quelle tradizionali	1 – 3
Smorzatori rotaia	300 euro / m per 30 anni	3

Rumore da impatto [Da Q-City TIP4-CT-2005-516420]

<i>Ref. GM-Rail</i>	<i>Azione</i>	<i>Riduzione in dB(A)</i>	<i>Costo (euro)</i>	<i>Note</i>
GM-Rail 9	Binario	7 - 10	60 per set di ruote	È il trattamento più importante
GM-Rail 11	Controllo slittamento laterale	7 - 10	5.000 – 10.000 a veicolo	Se eseguito riduce anche i costi dell'allineamento delle ruote
GM-Rail 10	Molatura dei binari	7 - 10	4.000 a km di binario	Va eseguito con l'allineamento delle ruote
<i>Ref. GM-Rail</i>	<i>Azione</i>	<i>Riduzione in dB(A)</i>	<i>Costo (euro)</i>	<i>Note</i>
GM-Rail 12	Eliminazione di difetti del binario	0 - 3	Circa 200 a difetto	I costi variano a seconda dei difetti
GM-Rail 13	Manutenzione dei giunti	2 - 3	200 - 400 a giunto	
GM-Rail 14	Saldatura dei giunti	5	600 a giunto	
GM-Rail 15	Eliminazione degli strati del supporto	5	250 al m	

Rumore da corrugamento [Da Q-City TIP4-CT-2005-516420]

<i>Ref. GM-Rail</i>	<i>Azione</i>	<i>Riduzione in dB(A)</i>	<i>Costo (euro)</i>	<i>Note</i>
GM-Rail 9	Allineamento delle ruote	7 - 10	60 per set di ruote	Non applicabile sui freni a ceppi
GM-Rail 16	Modificatore d'attrito	varia	1.400 a veicolo all'anno	2 assi trattati per veicolo
GM-Rail 17	Riprofilatura delle ruote	ID*	60 per set di ruote	
GM-Rail 10	Molatura "aggressiva"	7 - 10	4.000 a km di binario	
GM-Rail 18	Riduzione della rigidità dei supporti	ID*	0	
GM-Rail 19	Verniciatura dei binari	ID*	50 al m	Pitture anti attrito
GM-Rail 20	Rotaie annegate	ID*	500 al m	Ottimizzazione degli schermi

Rumore da rotolamento [Da Q-City TIP4-CT-2005-516420]

<i>Ref. GM-Rail</i>	<i>Azione</i>	<i>Riduzione in dB(A)</i>	<i>Costo (euro)</i>	<i>Note</i>
GM-Rail 1	Ruote resilienti	1 - 2	2.000 – 3.000 a ruota	Non applicabile sui freni a ceppi
GM-Rail 2	Assorbitori Sui binari	5	100 a mq	Non applicabile se c'è il ballast
GM-Rail 3	Smorzatori accordati in frequenza sui binari	1 - 3	500 al m	
GM-Rail 4	Smorzatori globali	2 - 3	100 – 200 al m	
GM-Rail 5	Smorzatori + smorzatori alle ruote	5 - 7	500 a ruota	

<i>Ref. GM-Rail</i>	<i>Azione</i>	<i>Riduzione in dB(A)</i>	<i>Costo (euro)</i>	<i>Note</i>
GM-Rail 6	rotaie annegate con soletta elastica	1 - 3	500 – 800 al m	
GM-Rail 7	Nuove rotaie +/- Schermi adattati	2 - 5	100 – 1000 al m	Ottimizzazione degli schermi
GM-Rail 8	Profilo speciali delle rotaie	5		

Eccessivo rumore da rotolamento [Da Q-City TIP4-CT-2005-516420]

<i>Ref. GM-Rail</i>	<i>Ubicazione</i>	<i>Azione</i>	<i>Riduzione in dB(A)</i>	<i>Costo (euro)</i>	<i>Note</i>
GM-Rail 9	Veicolo	Allineamento ruote	7 - 10	60 per set di ruote	Da eseguire contemporaneamente alla molatura dei binari
		Trattamenti delle ruote per il normale rumore da rotolamento			
GM-Rail 10	Binario	molatura	7 - 10	4.000 a km di binario	Da eseguire contemporaneamente all'allineamento delle ruote
		Trattamenti delle ruote per il normale rumore da rotolamento			

8.3 Misure di riduzione specifiche applicabili al binario

Agli accorgimenti precedentemente descritti studiati appositamente per ridurre l'emissione della ruota, si aggiungono quelli tratti dallo studio di nuovi binari silenziosi.

Le forme e profili delle rotaie sono ormai praticamente standardizzati, così come l'uso dell'acciaio 900A come materiale costruttivo.

Le soluzioni tecniche migliorative che sono state introdotte nel settore, e di cui si auspica un largo impiego in futuro, sono:

- l'impiego di binari saldati in sostituzione di quelli giuntati;
- l'uso di traverse in cemento;
- la predisposizione di attacchi rotaia-traversa di tipo elastico;
- l'uso di gomme di particolari elasticità tra rotaia e traversa;
- regolare manutenzione migliorativa.

Ulteriori trattamenti fonoassorbenti sulle rotaie, come l'annegamento del loro profilo in elastomeri sintetici o l'applicazione di smorzatori dinamici, hanno un costo elevato e si impiegano ancora in fase sperimentale. Tuttavia, si auspica che le rotaie annegate in elastomeri vengano nel prossimo futuro utilizzate come prassi, almeno in ambito cittadino o suburbano.

Molatura acustica

La vibrazione delle parti metalliche, sorgente principale di rumore, è amplificata dal corrugamento superficiale della rotaia e della superficie di rotolamento del cerchione della ruota, pertanto una riduzione di tale corrugamento comporta un immediato beneficio in termini di abbattimento del rumore.

In funzione del tipo di treni transitanti e dello stato attuale della superficie di rotolamento, si possono avere riduzioni di oltre 10 dB(A) sul livello equivalente (Q-City TIP4-CT-2005-516420). In particolare, la molatura ordinaria (di mantenimento) consente una riduzione del rumore di 7-8 dB(A), che possono essere incrementati di 3-4 dB(A), utilizzando la molatura acustica più fine, realizzata con dispositivi appositamente progettati.

La molatura è una pratica adottata già da diverse decine di anni per la manutenzione del binario, pertanto le ferrovie hanno rapporti stabili con i fornitori degli strumenti e col personale in grado di effettuarla. Per ripristinare il profilo delle rotaie, si usano delle macchine che asportano fino a 5 mm di spessore, riportando il binario ad un profilo più omogeneo, tramite delle pietre a inclinazione variabile.

Tuttavia, un'analisi periodica del corrugamento su tutte le linee italiane non è mai stata avviata, parametro che permetterebbe di stabilire il livello di rumore emesso dai diversi tratti di uno stesso binario, e che potrebbe quantificare con certezza l'influenza della molatura, come azione di abbattimento del rumore ferroviario.

Ad esempio, i macchinari della Speno S.p.A sono in grado di eseguire sia la molatura normale, con diverse inclinazioni, sia quella acustica. La ditta Scheuchzer SA è specializzata nella molatura acustica della testa della rotaia: quest'ultima viene effettuata con dei macchinari che, pur asportando meno materiale, lisciano il profilo in maniera più fine (a volte la molatura classica porta ad un innalzamento temporaneo del livello di corrugamento).

I costi di queste operazioni, così come i tempi, sono elevati, poiché sono necessari più passaggi del macchinario per ottenere buoni risultati. La molatura è comunque una misura da prendere in considerazione nelle strategie di riduzione del rumore alla sorgente, infatti risulta che una riduzione di 2 dB, tramite molatura acustica, è paragonabile alla costruzione di mezzo metro di barriera, i cui costi sono però nettamente più alti (300 euro/m è il costo medio delle barriere contro i 4 euro/m per la molatura annuale). Un'ulteriore riduzione del rumore si può ottenere lubrificando le rotaie.

Le molature acustiche proposte in questo documento sono lunghe quanto le barriere proposte da RFI maggiorate della stessa lunghezza per il tratto prima e dopo l'intervento, risultando pertanto in totale 3 volte la lunghezza della barriera.

Riduzione del rumore ipotizzata mediante molatura dei binari [<http://www.qcity.org/results.html>]

Problema	Eccessivo rumore da rotolamento
Soluzione	Molatura dei binari
Riduzione del rumore attesa	7 – 10 dB(A)
Dettagli	- Molatura con lunghezza d'onda inferiore a 2 - 3 mm - Accuratezza richiesta secondo la ISO 3095
Costo	euro 4 per metro di binario
limitazioni	- una parte dell'effetto non è apprezzabile viste le particolari frequenze di vibrazione delle ruote - limitato accesso ai binari nei tunnels o impossibilità pratiche per i binari annegati

Rotaie annegate per linee urbane

Rispetto alle rotaie fissate direttamente alla soletta di cemento, il sistema delle rotaie annegate permette un risparmio acustico di 3-4 dB(A), mentre rispetto al sistema di appoggio sul ballast, si ha un decremento dell'emissione acustica da 0 a 3 dB(A), a seconda che il materiale in cui sono annegati i binari sia più o meno riflettente. Perché l'effetto sia maggiormente efficace, occorrerebbe annegare la rotaia in un materiale acusticamente assorbente. Un'ottima soluzione, adottata in alcune tratte ferroviarie urbane francesi, è quella in cui i binari e le loro fondazioni sono inseriti in una striscia di prato, che funge da buon assorbitore acustico.

Riduzione del rumore ipotizzata mediante rotaie annegate [http://www.qcity.org/results.html]

Problema	Eccessivo rumore da rotolamento
Soluzione	Rotaie annegate
Riduzione del rumore attesa	1 – 3 dB(A)
Limitazioni	Occorre spazio
Costo	euro 500 – 800 per metro di binario

Riduzione di rumore ipotizzata mediante sistema di fissaggio dei binari resiliente, [http://www.qcity.org/results.html]

Problema	Eccessivo rumore da rotolamento
Soluzione	Fissaggio dei binari resiliente
Riduzione del rumore attesa	7 – 10 dB(A)

Esempi di binario annegato, su linee urbane. A sinistra, in pavimentazione in pietra [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, "Quiet City Transport", DELIVERABLE D3.9, 2006]. A destra, in terreno vegetale [tramway di banlieue parigina]



Smorzatori di vibrazione della rotaia

La vibrazione della rotaia rappresenta una delle componenti che nel sistema treno-binario emette più rumore, quantomeno tra i 40 ed i 200 km/h. Essa può essere contenuta utilizzando dei risuonatori meccanici di semplice montaggio, che riducono la vibrazione della stessa.

Uno smorzatore di vibrazioni è infatti un risuonatore meccanico attaccato alla rotaia, costituito da un sistema massa-molla, il quale subisce un grande spostamento quando la rotaia vibra alla frequenza di risonanza a cui questo viene accordato. Dal punto di vista fisico, essi sono elementi prefabbricati in materiale elastico contenente delle strisce di metallo, da collocarsi sui lati della rotaia. I fornitori non sono molti, tuttavia, i loro prodotti sono già commercializzati da tempo.

Gli smorzatori per le rotaie prodotti dalla Corus S.p.A, ad esempio, sono costituiti da due blocchi in acciaio tra i quali è interposto uno strato di elastomero: quest'ultimo è in grado di smorzare le vibrazioni della rotaia in un range di frequenze comprese tra i 500 Hz e i 2 kHz. Questi assorbitori vengono montati in maniera continua lungo tutta la rotaia, o per la lunghezza di 30 cm ogni 60 cm, per lasciar spazio ai sistemi di fissaggio delle traversine.

In Olanda, questi smorzatori sono stati installati e testati a Veenendaal, ove si è misurata una riduzione media di 3 dB; in particolare: di 2 dB su tratte più lisce, e fino a 6 dB su quelle più corrugate.

L'effetto di questi sistemi è purtroppo notevolmente influenzato dal rumore della ruota e dalle condizioni di rugosità del binario. Se si considera il solo contributo legato al decadimento della vibrazione della rotaia, sono in grado di produrre una diminuzione che ammonta anche 9 dB(A); tuttavia, nelle comuni condizioni pratiche, il livello di pressione sonora si riduce meno a seconda del tipo di treno e delle condizioni di usura delle ruote.

Gli smorzatori sono efficaci per velocità al di sopra dei 40-50 km/h, il loro costo è di circa 200 euro/binario/metro.

Esempi di assorbitori lungo i binari. [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, "Quiet City Transport" DELIVERABLE D3.9, 2006].



Lo spettro del rumore varia per ogni tipo di binario; in particolare, varia la posizione del picco nella gamma di frequenze studiate ed il valore massimo dello stesso.

Gli smorzatori accordabili in frequenza vanno progettati per i singoli binari sui quali vanno applicati e non possono essere montati in maniera universale.

Riduzione ipotizzata mediante smorzatori accordati in frequenza [http://www.qcity.org/results.html]

Problema	Normale rumore da rotolamento
Soluzione	Smorzatore accordato in frequenza
Riduzione del rumore attesa	1 – 3 dB(A)
Dettagli	Assorbitori lungo i binari
Costo	euro 250 per 1 metro di binario
Limitazioni	E' richiesto spazio tra i binari e la platea

Gli assorbitori possono essere fissati meccanicamente o incollati.

I primi sono più facili da montare e possono essere rimossi e riutilizzati su altri binari.

Gli assorbitori incollati invece sono permanenti ed essendo in genere continui mostrano un miglior funzionamento.

Assorbitori fissati meccanicamente, particolari [D. Benton "Engineering Aspects of Rail Damper Design and Installation", 2006]



Esempi europei di utilizzo degli assorbitori lungo i binari

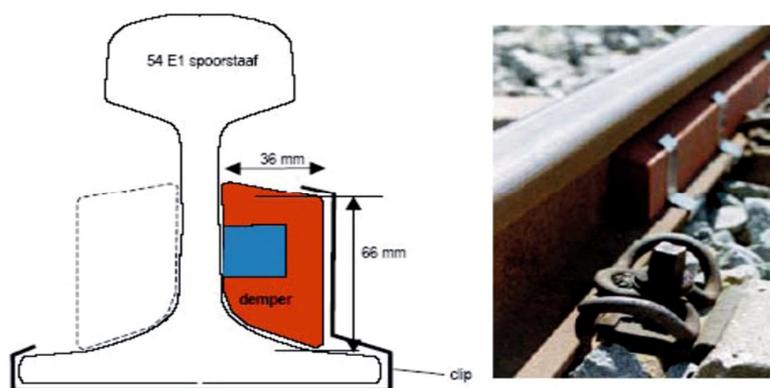
<i>Paese</i>	<i>Tipo di binario</i>	<i>Assorbitore</i>	<i>Fissaggio</i>	<i>Riduzione dB(A)</i>
Velim, Repubblica Ceca	UIC 60, Pandrol E	500 mm continuo	Saldato alla rotaia	maggiore di 6
Olanda	UIC 54, Vossloh + schermi rigidi	500 mm continuo	Incollato	3
Pierrelatte, Francia	UIC 60, Nabla + schermi rigidi	300 mm tra gli assorbitori	Clip a U	5,8 sul binario 3,4 complessivo
Svezia	UIC 60, Pandrol E	400 mm tra gli assorbitori	Clip a incastro	maggiore di 6
Germania	UIC 60, Vossloh	360 mm tra gli assorbitori	Clip a incastro	9 sul binario 3,5 complessivo

Gli smorzatori a banda larga e accordati in frequenza si usano su supporti mediamente morbidi e su tratti rettilinei di rotaia. Le loro prestazioni sono legate alla velocità di decadimento delle vibrazioni del binario, all'impedenza meccanica della rotaia e alla rigidità del contatto ruota/rotaia.

Riduzione ipotizzata mediante smorzatori ai binari e alle ruote. [http://www.qcity.org/results.html]

Problema	Normale rumore da rotolamento
Soluzione	Smorzatori a banda larga per binario e per le ruote
Riduzione del rumore attesa	5 – 7 dB(A)
Costi	euro 100 - 200 per metro di binario, euro 500 per ruota
interazioni	Occorre spazio per il montaggio

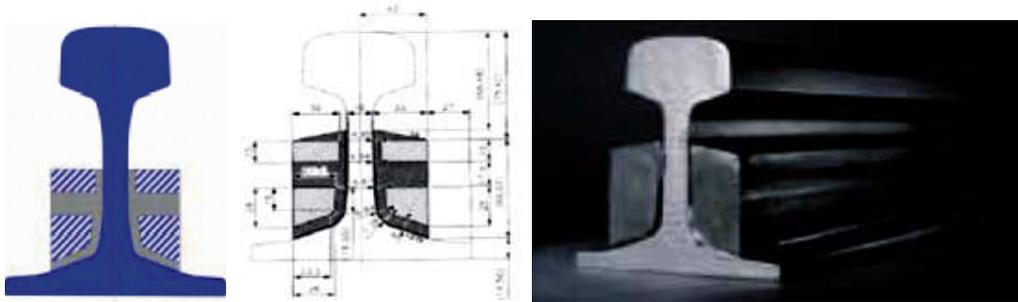
Assorbitore Quiet Srey & Veit [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, "Quiet City Transport", DELIVERABLE D3.9, 2006]



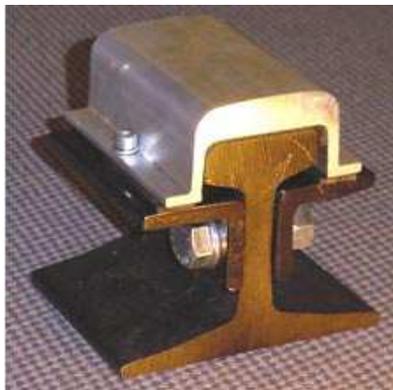
Assorbitore Schrey & Veit: assorbitore in frequenza multi direzionale [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, "Quiet City Transport" DELIVERABLE D3.9, 2006]



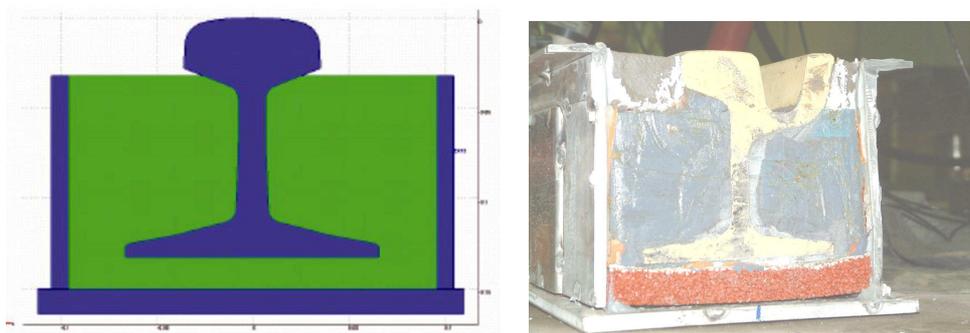
Assorbitore accordato in frequenza continuo incollato Corus and Edilon [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, "Quiet City Transport" DELIVERABLE D3.9, 2006]



Binario con profilo a sella. [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, "Quiet City Transport" DELIVERABLE D3.9, 2006]



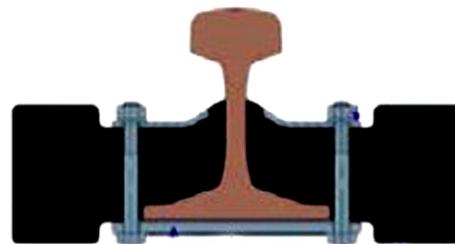
Binario UIC 60 annegato in profilo scatolare d'acciaio contenente materiale viscoelastico [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, "Quiet City Transport" DELIVERABLE D3.9 "Vehicle/infrastructure interface related noise", 2006]



Piatto smorzatore in acciaio sagomato e fissato tramite materiale elastico Vossloh [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, “Quiet City Transport” DELIVERABLE D3.9 “Vehicle/infrastructure interface related noise”, 2006]



Assorbitori leggeri CDM (in nero) fissati mediante piatti d'acciaio [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, “Quiet City Transport” DELIVERABLE D3.9 “Vehicle/infrastructure interface related noise”, 2006]



Suola della rotaia

Analogamente a quanto può fare lo smorzatore di cui sopra, la suola della rotaia gioca un ruolo ancora più influente sul rumore ferroviario: può smorzare la vibrazione per dissipazione energetica interna, può trasferire la vibrazione al sottosistema, comportando comunque uno smorzamento o può influire sulla crescita o sulla riduzione del corrugamento della rotaia.

L'effetto è molto buono al di sopra dei 30 km/h, per i prodotti commercialmente già disponibili. Come per gli smorzatori classici, varia in funzione di parametri propri del sistema, come la rigidità della suola e lo spettro energetico ottenuto come somma degli spettri di ruota e rotaia. Il suo effetto sul livello equivalente può estendersi da 0 a 3 dB(A).

I costi non si discostano da quelli di una suola standard.

Riduzione del rumore ipotizzata mediante schermi rigidi laterali [http://www.qcity.org/results.html]

Problema	Normale rumore da rotolamento
Soluzione	Schermi rigidi laterali
Riduzione del rumore attesa	2 – 4 dB(A)
Limitazioni	Occorre spazio per la loro collocazione
Costo	euro 20 per metro di binario

Riduzione ipotizzata mediante binari speciali [http://www.qcity.org/results.html]

Problema	Normale rumore da rotolamento
Soluzione	Binari speciali
Riduzione del rumore attesa	1 – 3 dB(A)
Limitazioni	Ancora in fase di studio
Costo	euro 100 per metro di binario

Rotaie in piattaforma resiliente per ponti

Poiché il rumore dei ponti ferroviari è dominato dalla vibrazione della struttura del ponte al passaggio del treno, e poiché la vibrazione si genera all'interfaccia ruota-rotaia, si adottano rotaie speciali interamente immerse in materiale resiliente che isolano meccanicamente il sistema ruota-rotaia dal ponte in acciaio; inoltre si possono aggiungere delle piastre metalliche con materiale resiliente attaccate al ponte che smorzano la vibrazione delle superfici metalliche del ponte stesso. Per velocità convenzionali, l'effetto può anche superare i 10 dB(A).

Le effettive misure di riduzione del rumore, sui ponti d'acciaio, sono elencabili in:

- una riduzione della rigidità dei supporti;
- la fissazione elastica dei binari;
- l'incremento della massa dei supporti;
- la levigatura dei binari;
- l'eliminazione delle discontinuità delle rotaie tra il ponte e i tratti adiacenti.

Esempio di desolidarizzazione dei binari dalla struttura di un ponte, mediante inserimento di smorzatori in materiale composito [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, "Quiet City Transport" DELIVERABLE D3.9 "Vehicle/infrastructure interface related noise", 2006]



Interventi sui supporti del binario

L'utilizzo di massicciate con pietre più o meno grandi e con percentuali di vuoti differenti influisce sui livelli sonori propagati, in quanto il suono si diffonde nei vuoti e si smorza prima di essere riflesso verso l'esterno.

La posa in opera di binari su piastre in calcestruzzo, al contrario, è molto svantaggiosa, in quanto comporta un aumento di rumorosità da 4 a 7 dB(A) per effetto della riflessione delle piastre, rispetto alla tradizionale posa su ballast.

Per quanto riguarda le traversine, invece, si raccomanda l'uso di traversine bi-blocco.

L'adozione di traversine bi-blocco in cemento armato precompresso, in sostituzione alle monoblocco, o in legno, permette l'abbattimento del rumore, migliorando le proprietà di

dispersione energetica, riducendo i modi propri di vibrazione e conseguentemente la superficie radiante.

Numerosi sono i produttori di traversine in cemento armato precompresso presenti in Europa, essendo questo uno degli elementi più comuni e semplici dell'armamento ferroviario.

L'effetto di riduzione del livello sonoro equivalente per le traversine bi-blocco raggiunge i 2 dB(A), in funzione del tipo di armamento e della velocità dei treni, che modificano lo spettro di eccitazione nello specifico sito.

I costi sono confrontabili con quelli di traverse tradizionali, visto che i materiali utilizzati e le tecniche di realizzazione sono del tutto identiche.

Smorzatori su traversine di cemento. [Da Eng. Ion Dedu, Infrastructure Manager of Pandrol "Light Rail Helps Solve Capacity Crisis", 2008]



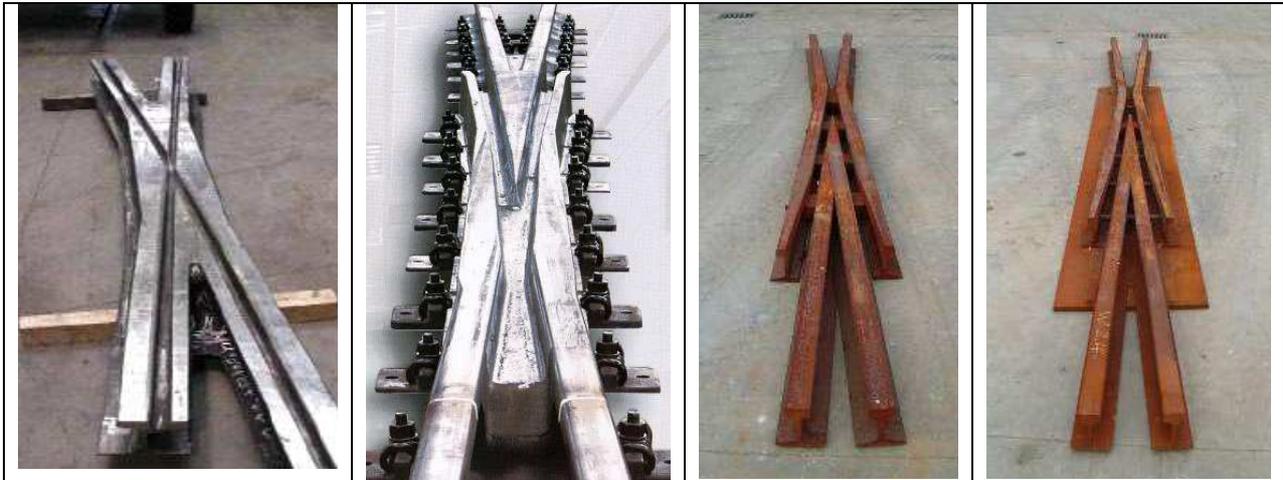
Interventi sugli scambi

Ad oggi, non risulta possibile intervenire sullo scambio con dispositivi antirumore efficienti. L'unica riduzione in emissione sperimentata, nel 2008, è di circa 1 dB(A) (Cfr: Q-City TIP4-CT-2005-516420), ma il progetto FP-6-505592 "Turnouts" (*New concepts for turnouts in urban rail transit infrastructure*) sostiene che, migliorando la qualità degli scambi, si possa arrivare a decrementi delle emissioni localizzate anche maggiori.

Il rumore in prossimità degli scambi è molto fastidioso e può arrivare a superare anche di 10 dB(A) il rumore generato nelle stesse condizioni in assenza dello stesso. L'incrocio dello scambio (in inglese, frog) può essere prefabbricato o assemblato in opera.

Il modo più efficace di ridurre il rumore è di usare i cosiddetti *swing-frogs*, ovvero *flanges* mobili che assecondano l'impatto con le ruote del treno, oppure di inserire delle superfici smorzanti sotto il blocco dello scambio.

Esempi di scambi . A sinistra prima dell'intervento di smorzamento del rumore, a destra dopo l'intervento mediante l'inserimento di assorbitori o piastre. [da Q-City TIP4-CT-2005-516420, "Quiet City Transport" DELIVERABLE D3.9 "Vehicle/infrastructure interface related noise", 2006]



Riduzione del rumore in curva

Il rumore stridulo generato da un convoglio in curva dipende dal raggio di curvatura della stessa, dalla velocità del convoglio, dalla geometria e dalla rigidità dei singoli vagoni, dalle caratteristiche delle ruote e del sistema ruota-rotaia.

Solitamente si produce in presenza di un raggio di curvatura inferiore ai 100 m, ma si può avere anche con raggi maggiori, se non vengono presi opportuni accorgimenti preventivi.

Il rumore deriva dal fatto che in curva le ruote scorrono mentre rotolano, poiché la ruota esterna e quella interna, pur essendo collegate allo stesso asse, seguono un percorso diverso (quello della ruota esterna è ovviamente maggiore) ed inoltre perché i carrelli tradizionali a due assi in curva mantengono forzatamente gli assi stessi paralleli, con conseguenza che, durante la curva, si produce un piccolo slittamento laterale in direzione perpendicolare a quella di rotolamento.

In genere lo stridio in curva presenta una frequenza dominante, che corrisponde all'incirca alla frequenza naturale di risonanza della ruota quando questa non tocca la rotaia. Questo rumore è pertanto controllabile smorzando le vibrazioni delle ruote.

In ogni caso è buona norma:

- costruire curve con raggio di curvatura non inferiore ai 100 ÷ 150 m;
- sostituire i carrelli tradizionali ad assi fissi con carrelli di tipo radiale, che permettono agli assi di disporsi secondo il raggio della curva

Il documento BRPR-CT97-0477, "*Squeal noise reduction in urban transport by rail treatment*", indica due possibili interventi per ridurre il cigolio: il primo è quello di ridurre l'attrito sulla sommità della rotaia ed il secondo quello di introdurre dei velocizzatori laterali resilienti.

Per quanto riguarda i costi, ad esempio per 100 m di binari in curvatura, sono generalmente necessari:

- un trattamento per ridurre l'attrito superficiale che ammonta a circa euro 30.000;
- 320 cerniere laterali resilienti che costano circa euro 32.000.

Barriere poste direttamente sui binari

Un'ulteriore strategia antirumore può essere costituita dall'innalzamento di piccole barriere calpestabili da installare a ridosso del binario, per attenuare il rumore provocato dal contatto ruota-rotaia, che si propaga in un cono di 30° intorno alla direttrice ortogonale al binario.

Occorre garantire, al momento della loro progettazione, lo spazio di manovra per le opere di manutenzione periodica dei binari.

Barriere basse calpestabili vicine al binario. [Da Probst, Wolfgang, "Q-city: a concept for noise mapping, ranking, hot spot detection and action planning", 2007]



9. CONCLUSIONI

Il DM 29/11/2000 indica le priorità ed i metodi preferenziali di realizzazione degli interventi di risanamento sulle infrastrutture. In particolare l'art. 5 comma 3, prevede che debbano essere effettuati secondo un preciso ordine di priorità:

azioni sulla sorgente di rumore;

azioni di risanamento lungo la via di propagazione del rumore;

azioni al ricettore.

I piani presentati da RFI, considerano, al contrario, unicamente interventi di tipo passivo, ovvero lungo le vie di propagazione del rumore (mediante l'istallazione di barriere antirumore) o interventi sui ricettori. Tale *modus agendi* è in contrasto con le richieste del citato DM 29/11/2000.

Il progetto europeo STAIRSS ha dimostrato come interventi sulla sorgente e al ricettore siano più favorevoli in termini di costi benefici, rispetto alla sola realizzazione di barriere con altezza superiore a 2 m.

Dall'analisi della documentazione relativa alla realizzazione degli interventi di RFI risultano alcune incongruenze nei dati forniti in particolare riguardanti il dimensionamento delle barriere proposte e l'individuazione dei ricettori esposti. Mancano inoltre i dati relativi alla numerosità della popolazione esposta a rumore ferroviario superiore ai limiti di legge.

Segue una tabella riepilogativa degli interventi previsti o suggeriti nei siti in oggetto.

Codici intervento	Interventi RFI	Costo	Interventi ulteriori suggeriti	Costo	Interventi parzialmente sostitutivi *	Costo
Comune di San Vincenzo (LI)						
049018024 049018029	Barriere	7.888.000,00	Smorzatori alla rotaia	400.000,00	Molatura Acustica	Circa 40.00000
Comune di Arezzo (AR)						
051002057 051002041 051002022 051002056 051002044	Barriere	13.059.000,00	Smorzatori alla rotaia	2.442.000,00	Molatura acustica e manutenzione giunti	Circa 400.000,00
Comune di Chiusi (SI)						
052011029 052011022 052011020 052011031	Barriere	2.758.000,00	/ (1)	/	/	/
Comune di Livorno (LI)						
049009005 049009006 049009022 049009021 049009007	Barriere + diretto	6.855.000,00	Smorzatori alla rotaia	47.500,00	/	/

Comune di Figline Valdarno (LI)						
048016020 048016021 048016009 048016018	Barriere	7.259.000,00	/ (2)	/	Molatura Acustica	dipende dal numero dei binari interessati
Comune di Prato (PO)						
100005015 100005023 100005026 100005033 100005025	Barriere + diretto	11.255.000,00	/ (2)	/	Molatura Acustica	dipende dal numero dei binari interessati

* Gli Interventi Parzialmente Sostitutivi proposti sono sostitutivi non della barriera nel suo complesso, ma dei metri della barriera oltre i 4 m d'altezza. Nel senso che si ipotizza di fermare la barriera a 4 m d'altezza e affiancare gli interventi proposti.

TUTTI GLI INTERVENTI PROPOSTI SONO AL NETTO DELLE OPERE DI CANTIERIZZAZIONE, DEL TRASFERIMENTO DI MACCHINARI E DEI COSTI DI INTERRUZIONE DELLA GESTIONE ORDINARIA DELLA LINEA FERROVIARIA, E SONO RIFERITI AL NUMERO TOTALE DEI BINARI INTERESSATI DALL'INTERVENTO.

- (1) si consiglia di approfondire data la scarsità dei dati messi a disposizione dal piano.
- (2) Si consiglia di approfondire poiché gli interventi si basano unicamente sull'altezza delle barriere proposte e non sullo studio dei livelli sonori del sito, dato che la relazione acustica non era allegata al progetto definitivo.

Un'analisi degli interventi di mitigazione maggiormente approfondita sarebbe possibile soltanto a seguito della modellazione della propagazione del rumore ferroviario e dei conseguenti interventi di contenimento, che non era oggetto del presente lavoro.

10. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Amundsen A.H., Klaebe R., *A Nordic Perspective on Noise Reduction at the Source* , TOI (Institute of transport Economics of Norway), Report 806/2005, 2005.

Benton D., *Engineering aspects of rail damper design and installation* , Atti del congresso Railway noise in urban areas: possible source noise reduction measures , Pisa, 2006.

Bracciali, A., Mingozi, E., Scepi: M., *Riduzione del rumore ferroviario mediante l'impiego di ruote a bassa emissione acustica* , Atti del Convegno del Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani (CIFI) 2003, Napoli, vol. 2, 83-88.

Casini D., Casini M., Cerchiai M., et al. *Il risanamento acustico delle grandi infrastrutture di trasporto stradale e ferroviario in Toscana* , 29° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana d'Acustica, Ferrara, 2002.

Cirillo E., *Criteri per la progettazione degli interventi di bonifica acustica* , Collana tecnico scientifica CIRIAF-Ministero dell'Ambiente, Volume n. 5, 2000;

EU Commission *A study of European priorities and strategies for railway noise abatement* , EU Commission - Directorate-General for Energy and Transport, Report 01.921, 2001.

EU Commission Environment DG W.G. Railway Noise, *Position Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement* , 2003.

EU Commission W.G.5 abatement, *Inventory of noise mitigation method* , Directorate-General: Environment, Policy area: Noise, 2002.

Hemsworth B., *Results of STAIRRS project* , Railway Noise Abatement in Europe Congress, Brussels, 2003.

Hemsworth B., *Implemented solutions for railway noise reduction at the source* Atti del congresso Railway noise in urban areas: possible source noise reduction measures , Pisa, 2006.

Latrofa, E. M. Latrofa: R. *Criteri per la valutazione degli interventi di bonifica acustica* , Collana tecnico scientifica CIRIAF-Ministero dell'Ambiente, Volume n. 7, 2000;

Licitra G., Giusti G., Boccini L., et al. *Misura e modellizzazione del rumore da traffico ferroviario* , Atti della conferenza internazionale italo-francese sul rumore ambientale. Roma, 1997.

Licitra G., *Railway noise in urban areas: possible source noise reduction measures* , Atti del congresso Railway noise in urban areas: possible source noise reduction measures , Pisa, 2006.

Licitra G., Francia F., Boccini L., *Rumore da traffico ferroviario nell'attraversamento di aree urbane* , Atti della Conferenza Regionale Lo stato dell'ambiente in Toscana Vol. 3, Regione Toscana, Firenze, 1995.

Licitra G., Palazzuoli D., *Railnoise 2006: le politiche e le soluzioni tecniche per la mitigazione del rumore ferroviario* , Rivista Ingegneria Ferroviaria 7-8/2007.

Licitra G., Alfinito L., Magni L., Cerchiai M., *Determinazione delle prestazioni acustiche delle pavimentazioni stradali tramite adattamento del modello harmonoise* , Atti del 35° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica, Milano 2008.

Licitra G., Paviotti M., Reggiani M., Simonetti D., *Osservazioni al Piano degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore ai sensi del DM Ambiente 29/11/2000 presentato da RFI* .

Oertli J., Hubner P., *Risanamento acustico del trasporto merci su ferrovia* , SBB Swiss Federal Railways, UIC International Union of Railways, 2006.

Ogren M., *Noise Emission from Railway Traffic* , VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute), Report 559A, ISSN 0347-6030, 2006.

Van Honacker P., *Squeal Noise Reduction in Urban Transport by Rail Treatment* , CALM network Conference, 2000.

Vancluysen K., *Local Noise Abatement Policy, where to start?* SILENCE Project, 2007. European Commission W.G.5 abatement, *Inventory of noise mitigation method* , Directorate-General: Environment, Policy area: Noise, 2002.

11 SITOGRAFIA

Progetto CALM : www.calm-network.com

Progetto SILENCE : www.silence-ip.org

Progetto IMAGINE www.imagine-project.org

Progetto CIRCA <http://circa.europa.eu/Public/irc/env/Home/main>

Progetto SILVIA <http://silviaproject.com>

Progetto STAIRRS: www.stairrs.org

Progetto Q-City: www.qcity.org

<http://ec.europa.eu/environment/noise/directive.htm>

www.eea.europa.eu/themes/noise

www.workinggroupnoise.web-log.nl

www.ciriaf.it

www.arpat.toscana.it

www.trasportiambiente.it/rumore.html

www.euro.who.int/Noise

www.rfi.it

www.lucchinisidermeccanica.it