



Valutazione e mitigazione del rumore prodotto da altoparlanti, sottostazioni elettriche e gruppi elettrogeni in ambito ferroviario

Dott. Ingg. Angelo PEZZATI^(*), Sergio LUZZI^(**), Luca BARBIERI^(***)
Geom. Bruno CHIRICI^(****)

1. Introduzione

Con il termine “infrastruttura” il DPR 459/98, che tratta dell'inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario, definisce “l'insieme di materiale rotabile, binari, stazioni, scali, parchi, piazzali e sottostazioni elettriche”. Più in generale la legislazione sul rumore ferroviario che fa capo alla Legge 447/95 (Legge quadro sull'inquinamento acustico), prevede che debbano essere considerati come sorgenti di rumore ferroviario non solo il contributo prodotto dal transito dei convogli sui binari, ma anche quello generato dall'impiego di tutti gli altri sistemi necessari per consentire il regolare svolgimento del servizio ferroviario: i sistemi di altoparlanti per gli annunci di stazione, le sottostazioni elettriche, i gruppi elettrogeni, generatori di corrente ausiliari, etc.

I sistemi legislativo e normativo, non forniscono però metodi univoci per la valutazione del rumore proveniente da sorgenti di tipo ferroviario diverse dalla circolazione dei treni, per quanto tali contributi risultino spesso significativi e non trascurabili, soprattutto nelle zone fortemente urbanizzate in prossimità di stazioni, sottostazioni elettriche ed altri apparati rumorosi.

A ciò si aggiunga che la valutazione di tali contributi risulta essenziale per il pieno soddisfacimento di quanto previsto dalle disposizioni comunitarie in materia di mappatura acustica del territorio e per il mantenimento dei sistemi di gestione ambientale delle aziende e degli enti gestori della rete e del servizio.

In questo lavoro vengono presentate e descritte metodologie originali sviluppate dagli autori per la valutazione del rumore prodotto dai sistemi di altoparlanti di stazione, dalle sottostazioni elettriche e dai gruppi elettrogeni di pertinenza RFI, sperimentate con successo nel Compartimento di Firenze.

2. Materiali e metodi

Le metodologie definite per la valutazione, e la conseguente mitigazione, dell'impatto acustico prodotto dagli altoparlanti e dalle sottostazioni elettriche presentano un impianto analogo: a partire dall'universo delle possibili situazioni (scenari di base), vengono dapprima selezionati, censiti e caratterizzati i parametri ritenuti acusticamente più significativi; successivamente viene definito e applicato un algoritmo di calcolo, basato su tali parametri, per la determinazione, tra gli scenari di base, di un certo numero di scenari campione. Su tali elementi viene condotta una campagna di misure fonometriche per la caratterizzazione acustica della sorgente e quindi costruito un modello di simulazione per la valutazione del contributo rumoroso in facciata dei ricettori più esposti.

Diversa, in conseguenza delle loro diverse caratteristiche e tempistiche di funzionamento (non prevedibili, in quanto i gruppi elettrogeni entrano in funzione in situazioni di emergenza determinate dalla mancanza della tensione elettrica sulla linea), è la procedura sviluppata per i gruppi elettrogeni; questa prevede una prima fase di determinazione dei livelli di emissione della sorgente a partire dai quali, in relazione al contesto di inserimento e alla presenza di ricettori, vengono calcolati, per ogni scenario, i tempi di accensione massimi per evitare il superamento, nei periodi di riferimento diurno e notturno, dei limiti di rumorosità sui ricettori maggiormente esposti.

Viene descritto lo studio di caso riferito all'intero Compartimento RFI di Firenze, relativo all'applicazione di queste procedure a un insieme significativo di stazioni, gruppi elettrogeni e sottostazioni elettriche presenti in Toscana, Liguria, Emilia Romagna e Umbria.

(*) RFI SpA, già Direttore Compartimentale Infrastruttura - Firenze.

(**) Consigliere Nazionale Associazione Italiana di Acustica - Coordinatore Gruppo Acustica Ordine degli Ingegneri di Firenze.

(***) Esperto in Acustica e Modellistica del Rumore Ferroviario. Vicepresidente Associazione Italiana Studenti Ingegneria Ferroviaria.

(****) RFI S.p.A., Referente Ambientale Direzione Compartimentale Infrastruttura - Firenze.

Considerate le notevoli analogie tra le procedure di studio relative ad altoparlanti e sottostazioni elettriche queste vengono descritte insieme; viene poi presentato separatamente il metodo sviluppato per la valutazione di impatto acustico dei gruppi elettrogeni.

2.1. La valutazione acustica degli altoparlanti di stazione e delle sottostazioni elettriche

La procedura di valutazione ha previsto la formulazione di un algoritmo di calcolo che permette di determinare, a partire da un numero "n" di scenari di base, un numero di campioni rappresentativi su cui effettuare l'analisi acustica per la simulazione del contributo ai ricettori. L'algoritmo è stato implementato mettendo opportunamente in relazione le variabili individuate come acusticamente caratteristiche della tipologia di scenario esaminato; per ognuno degli "n" scenari di base considerati in fase di censimento si è assegnato ad ogni variabile un punteggio, che ha consentito l'applicazione dell'algoritmo e la creazione di una classifica di "n" scenari di base determinati a partire dai punteggi ottenuti relativamente ad un parametro di criticità generale e ad altri parametri rappresentativi.

Stabilito il criterio per la scelta degli scenari campione, su tali scenari si è effettuata l'analisi acustica, basata su misurazioni fonometriche e simulazioni, per caratterizzare le sorgenti e sono state raccolte tutte le informazioni necessarie per la corretta costruzione del modello per la valutazione previsionale dell'impatto acustico delle sorgenti considerate e per l'inserimento degli interventi di mitigazione eventualmente necessari.

2.1.1. Il censimento degli scenari di base

Nella metodologia proposta, il censimento degli scenari di base viene effettuato mediante la compilazione di un'apposita scheda, sulla quale vengono raccolte le informazioni rilevanti per offrire un quadro complessivo dei contesti esaminati - stazioni ferroviarie e sottostazioni elettriche - dal punto di vista acustico.

Per gli altoparlanti di stazione le informazioni raccolte sono raggruppate in sette diverse sezioni che identificano i seguenti aspetti: "Stazione", "Sorgenti", "Contesto di propagazione", "Altoparlanti", "Numero di annunci", "Altre Sorgenti" e "Ricettori".

Nelle sezioni "Stazione" e "Sorgenti" sono riportate le informazioni generali riguardanti la stazione e la sua sonorizzazione, corredate da immagini che rappresentano lo scenario esaminato, l'area sonorizzata e l'ubicazione dei diffusori acustici presenti.

Nella sezione "Contesto di propagazione" sono riportati, oltre ai dati per l'inquadramento territoriale, le informazioni utili per la definizione di tutti gli elementi che risultano avere influenza sulla libera propagazione del suo-

no quali tettoie, edifici, schermi di varia natura e piano-altimetria del terreno.

Nella sezione "Altoparlanti" sono riportati i dati relativi a numero e tipo di elementi di diffusione sonora presenti nella stazione, mentre "Numero di annunci" riporta il dato relativo al numero degli avvisi diurni e notturni, fornito da RFI.

Per tener conto del contesto acustico di inserimento dello scenario, e del possibile contributo generato dalla presenza di altre sorgenti, ferroviarie e non, è stata predisposta la sezione "Altre sorgenti" dove viene valutato, in modo qualitativo, il loro contributo al rumore ambientale.

Le informazioni relative alla distribuzione dei ricettori nell'intorno della stazione sono riportate nella sezione "Ricettori", dove vengono suddivisi e conteggiati i ricettori in funzione della distanza fra il sistema di sorgenti e la facciata dell'edificio e il numero di ambienti abitativi facenti parte del ricettore.

Per quanto riguarda invece il censimento degli scenari di base relativo alle sottostazioni elettriche, i dati rilevati durante il sopralluogo sono raccolti in tre distinte sezioni, relative a "Scenario di emissione", "Scenario di immissione" e "Valutazione di parametri aggregati".

Nella sezione "Scenario di emissione" sono riportate le informazioni che permettono di valutare la criticità connessa alle caratteristiche di funzionamento dei trasformatori presenti in sottostazione: in particolare, è stato valutato il contributo dell'emissione della singola sorgente trasformatore, l'eventuale presenza contemporanea di più sorgenti - e la relativa somma delle singole emissioni - nonché la variazione dell'emissione delle sorgenti al variare del carico richiesto dalla sezione di linea servita.

Nella sezione "Scenario di immissione" si trovano le informazioni relative ai ricettori presenti (in analogia a quanto fatto per la sezione "Ricettori" nello studio degli altoparlanti) e si valuta il numero dei ricettori presenti entro un'area di cento metri dai trasformatori nonché la distanza dal ricettore più vicino.

La "Valutazione di parametri aggregati" tiene conto di considerazioni geometriche relative a: disposizione dei fabbricati presenti in sottostazione e relativo effetto schermante, presenza di altri ostacoli naturali alla propagazione acustica, disposizione di interruttori ed estrattori (ulteriori sorgenti sonore presenti in sottostazione e considerate all'interno dei modelli), eventuale presenza di ricettori sensibili e di altre sorgenti di impatto esterne alla sottostazione.

2.1.2. Definizione dell'algoritmo e scelta degli scenari campione

All'interno della metodologia di valutazione, l'algoritmo per la scelta degli scenari campione viene applicato per estrarre, da un numero "n" di scenari di base, un numero "x" di scenari campione, scelti in modo da rappre-

TABELLA 1

VARIABILI CONSIDERATE NEL CENSIMENTO DELLO SCENARIO
DI BASE

Codice	Parametro considerato	Valori assegnati
A	N°altop. Tipo A	Numero degli altoparlanti del tipo "A" (cilindro) presenti in stazione
B	N°altop. Tipo B	Numero degli altoparlanti del tipo "B" (tromba) presenti in stazione
C	N°altop. Tipo C	Numero degli altoparlanti del tipo "C" (trombetta) presenti in stazione
D	N°altop. Tipo D	Numero degli altoparlanti del tipo "D" (casse) presenti in stazione
E	Dislocazione altoparlanti	Numero da 1 a 5 in relazione alla qualità ed efficienza della disposizione: 1 scarso 2 mediocre 3 suff. 4 buono 5 ottimo
F	Area di sonorizzazione	Area di sonorizzazione della stazione espressa in m²
G	Contesto piano-altimetrico	Numero da 1 a 6 in relazione alla situazione piano-altimetrica dell'intorno di stazione: 1 Stazione in piano (zona esterna al fascio binari alla stessa quota del piano del ferro) 2 Stazione a mezzacosta, un lato in piano e l'altro in rilevato 3 Stazione tutta in rilevato 4 Stazione a mezzacosta, un lato in piano e l'altro in trincea 5 Stazione a mezzacosta "pura" - un lato in rilevato, l'altro in trincea 6 Stazione completamente in trincea
H	Presenza di tettoie schermanti	Numero da 0 a 5 in relazione alla presenza di tettoie schermanti: 0 assenza 1 scarso 2 mediocre 3 sufficiente 4 buono 5 ottimo
I	Presenza di edifici schermanti	Numero da 0 a 5 in relazione alla presenza di edifici schermanti: 0 assenza 1 scarso 2 mediocre 3 sufficiente 4 buono 5 ottimo
L	Presenza di altri schermi	Numero da 0 a 5 in relazione alla presenza di altri schermi: 0 assenza 1 scarso 2 mediocre 3 sufficiente 4 buono 5 ottimo
M	Numero annunci diurni	Numero degli annunci prodotti nel periodo diurno (dato fornito da RFI)
N	Numero annunci notturni	Numero degli annunci prodotti nel periodo notturno (dato fornito da RFI)
O	Contributo sorgenti ferroviarie	Numero da 0 a 5 in relazione al contributo al rumore prodotto da sorgenti ferroviarie quali cantieri, officine di manutenzione ecc. in prossimità della stazione: 0 assenza 1 scarso 2 mediocre 3 sufficiente 4 buono 5 ottimo
P	Contributo sorgenti non ferroviarie (escluse le strade)	Numero da 0 a 5 in relazione al contributo al rumore prodotto da sorgenti non ferroviarie (ad esclusione delle strade) in prossimità della stazione: 0 assenza 1 scarso 2 mediocre 3 sufficiente 4 buono 5 ottimo
Q	Tipologia delle strade presenti in prossimità della stazione	Numero da 0 a 5 in relazione alla tipologia delle strade presenti in prossimità della stazione secondo il codice stradale: 0 assenza di strade 1 strada di quartiere 2 strada locale 3 strada di scorrimento 4 strada extraurbana 5 autostrada
R	Disposizione edifici attorno all'area di stazione	Numero da 0 a 2 in relazione alla disposizione degli edifici attorno all'area di stazione: 0 se sono assenti gli edifici in una fascia di 100m 1 se in tale fascia sono presenti edifici su un solo lato 2 se in tale fascia sono presenti edifici su entrambi i lati
S	Numero dei ricettori sensibili in una fascia di 250m	Numero dei ricettori sensibili (case di cura, ospedali) presenti all'interno di una fascia di 250m dalla stazione
T	Numero ricettori tipo A (d<10m e ab<10)	Numero dei ricettori del tipo "A" (aventi distanza dalla stazione minore di 10 metri e numero di ambienti abitativi minore di 10)
U	Numero ricettori tipo B (d<10m e ab≥10)	Numero dei ricettori del tipo "B" (aventi distanza dalla stazione minore di 10 metri e numero di ambienti abitativi maggiore o uguale a 10)
V	Numero ricettori tipo C (10m< d<30m e ab<10)	Numero dei ricettori del tipo "C" (aventi distanza dalla stazione compresa tra 10 e 30 metri e numero di ambienti abitativi minore di 10)
X	Numero ricettori tipo D (10m< d<30m e ab≥10)	Numero dei ricettori del tipo "D" (aventi distanza dalla stazione compresa tra 10 e 30 metri e numero di ambienti abitativi maggiore o uguale a 10)
Y	Numero ricettori tipo E (30m< d<100m)	Numero dei ricettori del tipo "E" (aventi distanza dalla stazione compresa tra 30 e 100 metri)

sentare sia le situazioni complessivamente più critiche che quelle maggiormente caratteristiche di una determinata tipologia di rumore. Attraverso l'applicazione dell'algoritmo infatti, viene definito sia il punteggio relativo alla criticità complessiva della situazione esaminata, sia il valore di parametri aggregati rappresentativi dello scenario acustico.

Nel caso degli altoparlanti di stazione vengono determinati cinque coefficienti caratteristici che, opportunamente combinati, forniscono il punteggio complessivo dello scenario. Gli scenari campione vengono scelti sulla base di questo punteggio e di quello dei cinque coefficienti caratteristici. In tabella 1 si riportano le variabili che, opportunamente valutate durante il censimento degli scenari di base, sono state combinate per determinare i coefficienti caratteristici e il punteggio complessivo.

Si definiscono cinque coefficienti caratteristici attraverso i quali viene valutata la generazione sonora, la propagazione dell'emissione, la distribuzione dei ricettori, la presenza di campo libero e la presenza di altre sorgenti diverse da quelle investigate.

Di seguito si descrivono i cinque coefficienti e le formule che li generano, che fanno riferimento alle variabili codificate in tabella 1.

Il coefficiente C1 è legato alla "generazione" dell'emissione sonora che considera gli elementi di caratterizzazione della sorgente, e viene definito dalla formula:

$$C1 = (A + B + 1.2 \cdot (C + D)) \cdot \log_{10}(M + 1.5 \cdot N) \quad (1)$$

Il termine logaritmico è stato inserito in uno dei due termini per ridurre la divergenza tra i punteggi che sarebbero risultati tra i vari elementi del campione. A titolo di esempio, una stazione con 5 altoparlanti e 30 annunci avrebbe prodotto - indicativamente - un punteggio di 150, una di 10 altoparlanti e 45 annunci un punteggio di 450, con una penalizzazione che sarebbe risultata eccessiva.

Il coefficiente moltiplicativo 1.2 della somma del numero di altoparlanti del tipo C e D è stato introdotto per tener conto della differente rumorosità delle tipologie di altoparlanti.

Il coefficiente moltiplicativo di 1.5 conferisce maggior peso agli annunci nel periodo di riferimento notturno.

Il coefficiente C2 caratterizza la "propagazione" dell'emissione, legata alla capacità dell'impianto di favorire o meno la diffusione del rumore sull'ambiente circostante. Per il calcolo del coefficiente C2 si utilizza la formula:

$$C2 = (1 + E/20) \cdot (1/(15 + G)) \cdot (F/20) \quad (2)$$

In questa espressione si nota come il valore alto di E indica una elevata e capillare diffusione acustica, penalizzante per i ricettori. Al contrario, un valore alto di G indica un contesto in cui la diffusione risulta penalizzata, ma il suo contributo è minore. F è relativo alla superficie sonoriizzata, che corrisponde all'area di stazione.

Il coefficiente C3 è legato alla presenza e alle caratteristiche dei ricettori e tiene conto della loro densità e distribuzione. Per il calcolo di C3 si utilizza la formula:

$$C3 = (1 + \frac{R}{10}) \cdot (5 \cdot S + 1.4 \cdot T + 1.8 \cdot U + 1.1 \cdot V + 1.2 \cdot X + Y) \quad (3)$$

Il parametro R tende a penalizzare la situazione in cui i ricettori si trovino in condizioni di maggiore prossimità rispetto alla sorgente; il parametro S, con il relativo coefficiente moltiplicativo, penalizza particolarmente le situazioni in cui siano presenti ricettori sensibili; gli altri parametri considerano l'influenza della distanza e della densità di popolazione.

Il coefficiente C4 è legato alla presenza di "schermature" lungo il cammino di propagazione del rumore e considera, con differenti pesature, gli effetti dovuti alla presenza di tettoie, edifici o altre tipologie di schermi; è definito dalla formula:

$$C4 = 10 - (\frac{3 \cdot H + 5 \cdot I + 2 \cdot L}{5}) \quad (4)$$

In questo termine si considerano, con diverse ponderazioni, gli effetti di eventuali schermature presenti fra la sorgente e i ricettori. Considerando che le tre voci considerate presentano valori che variano da 1 a 5, il valore di C4 varia da 0 a 10.

Il coefficiente C5 permette di valutare lo scenario acustico nel suo complesso, considerando la presenza di sorgenti di rumore diverse da quelle oggetto di studio. Per il calcolo di C5 si utilizza la formula:

$$C5 = 10 - (\frac{O + P + 4 \cdot Q}{3}) \quad (5)$$

Anche in questo caso, si valutano i diversi possibili elementi presenti considerati singolarmente con un opportuno coefficiente. Si assegna un coefficiente moltiplicativo di 4 alle strade perché sono il tipo di sorgente che contribuisce in maniera più significativa alla caratterizzazione del livello residuo.

A partire dai valori dei cinque coefficienti, viene calcolato il punteggio complessivo dello scenario, mediante la seguente relazione:

$$CT = \frac{C1 \cdot \ln(C2) \cdot (1 + \frac{C3}{40}) \cdot (1 + \frac{C4}{20}) \cdot C5}{10} \quad (6)$$

Il coefficiente di "Criticità Totale" viene calcolato come prodotto dei seguenti termini:

- il primo termine tiene conto, in modo non direttamente proporzionale, del prodotto del numero di annunci e superficie sonoriizzata;
- il secondo e il terzo termine considerano gli effetti legati alle caratteristiche di propagazione e degli schermi;
- il quarto termine è legato alla presenza dei ricettori (questo contributo, per la sua importanza, viene considerato interamente).

Il coefficiente CT di punteggio totale definisce quindi il grado di complessità generale di uno scenario, mentre i punteggi dei vari coefficienti servono a creare una graduatoria relativa alle criticità relative ai diversi coefficienti caratteristici.

Per quanto riguarda l'algoritmo di scelta per le sottostazioni elettriche, anche in questo caso l'applicazione della procedura mira alla scelta di un numero "x" di scenari campione, di cui un sottoinsieme selezionato in base al valore di criticità complessiva e un altro in base alla criticità rilevata rispetto ai parametri caratteristici.

Le informazioni raccolte nelle sezioni "Scenario di emissione", "Scenario di immissione" e "Valutazione dei parametri aggregati" sono opportunamente combinate tra loro per definire singoli indici di criticità, calcolati mediante le seguenti relazioni:

$$IC_{emissione,k} = (\frac{1}{L_{Wtot,max}} \cdot L_{Wtot,k}) + (\frac{1}{N_{transiti,max}} \cdot N_{transiti,k}) \quad (7)$$

con $L_{W,k}$ "potenza sonora", corrispondente al livello totale di emissione sonora generato dalla sottostazione e $N_{transiti,k}$ "fattore di carico", relativo al numero dei convogli ferroviari che transitano sulla tratta servita dalla sottostazione in esame;

$$IC_{immissione,k} = (\frac{1}{AE_{max}} \cdot AE_{k,k}) + (\frac{1}{Idist_{k,min}} \cdot Idist_{k,min}) \quad (8)$$

con $AE_{immobile,k}$ "abitanti equivalenti", relativo al numero di abitanti residenti nei ricettori interessati dalle emissioni di rumore prodotte dalla sottostazione e desunti in base alle volumetrie degli edifici e $Idist_{k,k}$ "indice di abbattimento", relativo al fattore di attenuazione sonora dovuto alla divergenza geometrica e all'effetto suolo;

$$IC_{tot,k} = IC_{emissione,k} + IC_{immissione,k} + IC_{parametri_agg,k} \quad IC_{parametri_agg,k} = \frac{1}{IPA_{max}} \cdot IPA_k \quad (9)$$

con IPA_k "Valutazione dei parametri aggregati", relativo ai contributi dovuti ad estrattori ed interruttori (per la determinazione dei quali sono state effettuate idonee misure) ed alle evidenze acustiche significative ma non direttamente misurabili o computabili emerse durante i sopralluoghi. Tutti i parametri dei relativi indici sono normalizzati rispetto al valore massimo rilevato.

Individuati i parametri rappresentativi per il singolo scenario oggetto di studio secondo le formule e definiti i criteri per quantificare il loro contributo e rendere confrontabili scenari differenti, sono stati stabiliti i criteri di

scelta dell'algoritmo sulla base degli indici di criticità fissati.

In primo luogo è stata identificata una formulazione globale della criticità del singolo scenario, che comprendesse i contributi di tutti i parametri analizzati in maniera consistente con gli indici di criticità definiti.

La formulazione finale derivata dall'approccio utilizzato è stata aggregata in un unico indice di criticità globale di sottostazione definito come

$$IC_{tot,k} = IC_{emissione,k} + IC_{immissione,k} + IC_{parametri_agg,k} \quad (10)$$

Sono stati quindi esplicitati i criteri di scelta, costruiti su due fondamentali principi di criticità che hanno portato a considerare significativo uno scenario:

- la criticità connessa con il contributo di ciascun parametro;
- la criticità complessiva dello scenario.

Per la scelta degli scenari rappresentativi quindi vengono determinati alcuni campioni sulla base dei contributi di ogni singolo parametro e altri sulla base della criticità complessiva dello scenario.

Nell'ordinamento sul singolo parametro, a parità di criticità le sottostazioni sono state ordinate in base al valore dell'indice di criticità dello scenario corrispondente.

Nell'ordinamento sulla criticità complessiva per la scelta degli scenari rappresentativi non sono state considerate le sottostazioni già selezionate sulla base delle criticità parametriche.

2.1.3. Valutazione dell'impatto acustico ai ricettori – Altoparlanti e Sottostazioni

Definiti attraverso l'algoritmo di calcolo gli scenari campione, vengono acquisite, mediante un apposito nuovo sopralluogo, le eventuali ulteriori informazioni necessarie all'implementazione del modello di simulazione, che consente la determinazione del contributo della sorgente esaminata al clima acustico in facciata dei ricettori considerati.

Questa fase prevede:

- caratterizzazione acustica della sorgente, attraverso una serie di rilievi fonometrici che permettono di definire le proprietà emissive tipiche di ogni scenario;
- individuazione degli edifici ricettore più esposti al rumore prodotto dalle sorgenti e loro censimento, e contemporanea raccolta dei dati relativi ad altri manufatti e strutture che possano influenzare la propagazione del rumore nell'ambiente circostante;
- in ogni scenario, misure fonometriche di immissione nella postazione ricettore più esposta (rumore ambientale e rumore residuo);

- costruzione del modello previsionale e simulazione, mediante opportuno software, del contributo delle sorgenti sui punti ricettore, posti in facciata degli edifici;
- determinazione dei livelli di esposizione di ogni ricettore nei periodi di riferimento diurno e notturno, a partire dalle informazioni relative all'impiego della sorgente investigata nei due diversi intervalli temporali.

Nell'analisi degli altoparlanti, la caratterizzazione acustica della sorgente prevede l'effettuazione di misure fonometriche con microfono posto in asse all'altoparlante a 1 m di distanza, la raccolta di informazioni relative ai diffusori presenti nello scenario e ai settaggi dei dispositivi di controllo del segnale e degli amplificatori, in modo da poter associare i valori registrati dal fonometro ad una determinata regolazione di tali parametri.

Nelle sottostazioni invece vengono effettuate misure di emissione dei trasformatori, intorno ai quali si realizza un apposito reticolo di postazioni che consente di valutare, a distanze variabili, i livelli di pressione sonora delle macchine.

Le misure in postazione ricettore vengono utilizzate per la validazione del modello di calcolo.

Nel censimento dei ricettori si raccolgono, oltre alle informazioni per una corretta modellazione, anche indicazioni sulla destinazione d'uso dei fabbricati, in particolare modo relative alla presenza di ricettori sensibili.

La fase successiva riguarda la modellazione dello scenario nel software di simulazione e la relativa validazione del modello, ottenuta mediante confronto fra i valori di pressione acustica misurati in postazione ricettore con quelli simulati – nel caso in cui la differenza risulti inferiore a 3dB(A); infine si procede al calcolo del contributo prodotto dalla sorgente investigata al clima acustico dello scenario, nel periodo di riferimento diurno e in quello notturno.

2.2. Calcolo del massimo impiego temporale dei dispositivi - Gruppi elettrogeni

La metodologia proposta per la valutazione del contributo sonoro prodotto dall'impiego dei gruppi elettrogeni differisce da quella utilizzata per gli altoparlanti e le sottostazioni elettriche: in questo caso non si applica un algoritmo per la determinazione degli scenari più significativi, ma la campagna di misure fonometriche viene effettuata su tutti gli scenari di base per determinare, con la successiva elaborazione dei dati, la durata massima di impiego dei dispositivi rumorosi.

Considerate le caratteristiche peculiari della sorgente considerata, che entra in funzione in situazioni di mancanza di energia della rete ENEL (e il cui tempo di funzionamento, di conseguenza, non è preventivabile), l'obiettivo della metodologia è quello di determinare i tempi massimi di accensione dei singoli gruppi elettrogeni, nel periodo di

OSSERVATORIO

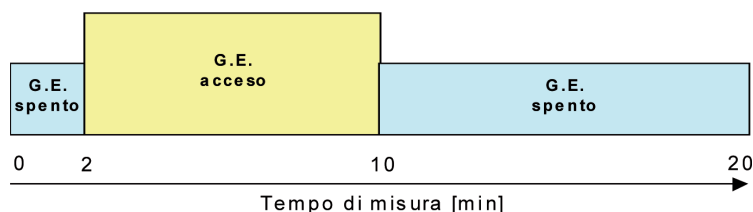


Fig. 1 – Schematizzazione del ciclo di misura.

riferimento diurno e notturno, in modo che non risultino superati i livelli limite previsti dal DPR 459/98.

La campagna di misura prevede l'effettuazione di rilievi fonometrici in due diverse postazioni: "Pr" in prossimità del gruppo elettrogeno esaminato, e "Ps" in facciata del ricettore più esposto, o in altro punto significativo.

Le misurazioni prevedono un primo sottoperiodo nel quale, in assenza di funzionamento della sorgente, si misura il livello residuo, un secondo sottoperiodo di misura

del livello ambientale con il gruppo elettrogeno acceso, un terzo sottoperiodo in cui si misura nuovamente il livello residuo.

La misura del livello ambientale comprende sia la fase di accensione e spento che quella di funzionamento a regime, pertanto la sua durata deve essere adeguata per permettere di definire correttamente la sorgente. Avendo analizzato il ciclo medio di funzionamento dei gruppi elettrogeni, si è ritenuta rappresentativa una durata complessiva di 20 minuti, secondo il ciclo di misura schematizzato in fig. 1.

GRUPPO ELETTROGENO	
IMPIANTO	
Zona 1 IS FI SMN	
LOCALITÀ	
Firenze Statuto	
CODICE IDENTIFICATIVO	
02_IS_FI SMN	
GRUPPO ELETTROGENO (MARCA E MODELLO)	
Elettromeccanica CM	
POTENZA (KVA)	
100	
SOPRALLUOGO	
DATA	15/11/2008
RILEVATORI	Ing. Riccardo Susini, Ing. Andrea Falchi
STRALCIO PLANIMETRICO	
LEGENDA	
<p>■ Gruppo Elettrogeno</p> <p>● Pr : postazione collocata a 15 m dal gruppo elettrogeno</p> <p>● Ps : postazione collocata in prossimità del ricettore o, se non presente, a 30 m dal gruppo elettrogeno</p>	

RFI Direzione Compartimentale Infrastrutture Firenze		SCENARIO BASE N°	
VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO DEGLI ANNUNCI DI STAZIONE NEL COMPARTIMENTO FERROVIARIO DI FIRENZE		2	
STAZIONE	Nome stazione: Firenze SMN	SORGENTI	Nome sorgente: Ferrovia
Linea	Nome di origine di varie linee: Firenze Roma (linea ferroviaria)	Localizzazione dell'area di studio	
Altre informazioni	38000		
CONTENUTO DI PROPAGAZIONE		ALTOPARLANTI	NUMERO DI ANNUNCI
Provincia	Firenze	Numero dei sorgenti	2
Comune	Firenze	Disposizione	2
Piano-altimetria	Tavola Schermata	TIPO "A"	TIPO "B"
Edifici Schermati	Edifici schermati	0	0
Interventi previsti	Area Schermata	TIPO "C"	TIPO "D"
		0	0
Scheda di censimento sottostazione elettrica		Informazioni generali	
Codice Sottostazione: 16		Denominazione: Incisa	
Inquadramento: 1 - Contorno urbano		2 - la vicinanza delle abitazioni	
Linee servite: Linea Lenta - Codice linee servite: 4		3 - Rurale	
Stima del numero dei transiti: 84			
Scenario di emissione			
Trasformatori	Tipo	Anno di costruzione	Tensione [kV] Potenza [kVA]
2	Siemens	1965	132 / 2,74 4.000
1	Siemens	1979	124 / 11 2.000
Altre fonti di impatto interne			
Numero di estrattori	4	Numero di liti su cui sono presenti	1
Numero di interruttori		3	
Altre fonti di impatto esterne			
Viabilità	Strada di scorrimento	Industria	Altro
Scenario di immissione			
Numero di ricettori individuati	2	Presenza di ricettori sensibili	Si No
		No	

Scheda di censimento sottostazione elettrica

Fig. 2 – Schede di censimento degli scenari base.



2.3. Schede di censimento degli scenari di base e degli scenari campione – scenari di rappresentazione del modello



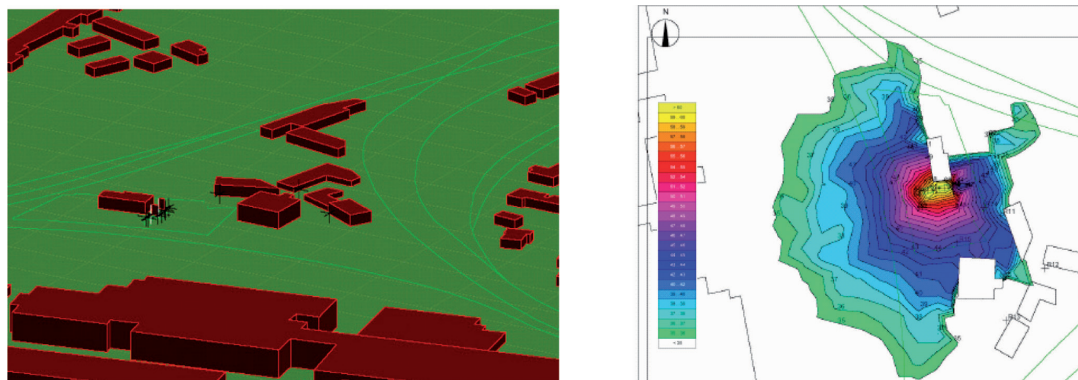


Fig. 5 – Rappresentazione 3D di uno scenario – Curve isofoniche.

parlanti, sottostazioni elettriche e gruppi elettrogeni.

L'applicazione dell'algoritmo all'insieme degli scenari di base di altoparlanti e sottostazioni elettriche ha portato alla determinazione degli scenari campione, sui quali sono state condotte le indagini già descritte.

In fig. 3 sono riportati due esempi di schede per la caratterizzazione della sorgente realizzata in questa fase su altoparlanti e sottostazioni elettriche.

In fig. 4 sono riportati alcuni scenari rappresentati nel modello; in fig. 5 la rappresentazione 3D di uno scenario e un esempio di mappa acustica isofonica prodotta dal modello di simulazione.

3. Studi di caso – Risultati

Le metodologie descritte in questo articolo sono state applicate per uno studio di caso su un campione significativo di altoparlanti di stazione, sottostazioni elettriche e gruppi elettrogeni presenti nella rete della Toscana e in alcune tratte ferroviarie di Emilia Romagna, Liguria e Umbria.

In particolare, sono stati analizzati 105 impianti di diffusione sonora, 46 sottostazioni elettriche e 68 gruppi elettrogeni.

I dati raccolti durante i sopralluoghi sono stati riportati nelle schede di censimento degli scenari di base e, successivamente, nelle schede di censimento degli scenari campione (vedi paragrafo 2.3).

L'applicazione dell'algoritmo all'insieme degli scenari di base di altoparlanti e sottostazioni elettriche ha portato alla determinazione, rispettivamente di 25 e 10 scenari campione, ottenendo i risultati descritti nei paragrafi seguenti.

3.1. Scelta dei 25 scenari campione per gli altoparlanti di stazione

Partendo da un insieme di 105 stazioni di base, che sono riportate nella tabella sottostante, si è giunti a definire un insieme di 25 scenari campione, suddivise in stazioni complesse, stazioni di media complessità e stazioni semplici, ottenute dall'applicazione degli algoritmi descritti nel paragrafo 2.1.2.

La scelta dei 25 scenari campione per gli altoparlanti di stazione è stata effettuata sulla base di un criterio di rappresentatività, considerando i punteggi ottenuti da ogni stazione per i singoli indicatori C1...C5 secondo il seguente principio:

Stazioni complesse (10 scenari campione)

Sono stati selezionati gli scenari che hanno presentato i due valori più alti per ciascuno degli indicatori C1...C5, considerando in caso di parità di punteggio il valore dell'indice globale CT.

Stazioni di media complessità (10 scenari campione)

Sono stati selezionati gli scenari che hanno presentato i due valori più alti per ciascuno degli indicatori C1...C5, considerando in caso di parità di punteggio il valore dell'indice globale CT.

Stazioni semplici (5 scenari campione)

Sono stati selezionati gli scenari che presentavano il valore più alto per ciascuno degli indicatori C1...C5, considerando in caso di parità di punteggio il valore dell'indice globale CT.

ELENCO DEI 105 SCENARI DI BASE

Unità	Linea	Codice stazione	Stazioni
Firenze Nodo	Chiusi-Empoli	1	Sinalunga
		2	Firenze SMN
	Chiusi-Firenze	3	Firenze C.M.
		4	Monte Antico
	Montepescale-Asciano	5	Asciano MO
		6	Firenze Rifredi
	Chiusi-Empoli / Montantico B.Madonnina Rossa	7	Siena
		8	Pistoia
	Chiusi-Empoli / Firenze-Pisa	9	Empoli
		10	Certaldo
	Chiusi-Empoli	11	Poggibonsi
		12	Castelfiorentino
	Firenze-Pisa	13	Signa
		14	Sesto Fiorentino
	Firenze-Pistoia	15	Zambra
		16	Firenze Statuto
	Firenze-Pistoia	17	Prato
		18	Prato Borgo Nuovo
Firenze Sud	Chiusi-Firenze	19	Arezzo
		20	Chiusi
	Chiusi-Firenze	21	Montevarchi
		22	Incisa
	Chiusi-Firenze	23	Figline
		24	S.Giovanni Valdarno
	Borgo S.L. - Pontassieve	25	Borgo S.L.
		26	Terontola
	Firenze-Faenza	27	Vaglia
		28	Campomigliaio
	Firenze-Faenza	29	S.Piero a Sieve
		30	Pontassieve
	Chiusi-Firenze	31	Castiglion Fiorentino
		32	Camucia
	Chiusi-Firenze	33	Fabro
		34	Orvieto
Liv-Chiarone	Vada-Livorno	35	Livorno Centrale
		36	Antignano
	Vada-Livorno	37	Castiglioncello
Livorno	Vada-Livorno	38	Rosignano
		39	Cecina
	Grosseto-Pisa	40	S.Vincenzo
		41	Campiglia
	Grosseto-Pisa	42	Follonica
		43	Scarlino
	Grosseto-Pisa	44	Grosseto
		45	Orbetello
Pisa-La Spezia	Grosseto-Pisa	46	Capalbio
		47	Pisa C.le
	Pisa-La Spezia	48	Pisa S.R.
		49	Torre del Lago
	Pisa-La Spezia	50	Viareggio
		51	Pietrasanta
	Pisa-La Spezia	52	Forte dei Marmi
Pisa-Lucca	Pisa-La Spezia	53	Massa C.
		54	Carrara
	Pisa-La Spezia	55	Sarzana
		56	Vezzano
	Pisa-La Spezia	57	La Spezia Migliarina
		58	La Spezia C.le
	Pistoia-Pisa	59	Ripafratta
		60	Rigoli
Empoli-Pisa	Firenze-Pisa	61	Navacchio
		62	S.Frediano
	Firenze-Pisa	63	Cascina
		64	Pontedera
	Firenze-Pisa	65	S.Romano
		66	S.Miniato
Campiglia-Piombino	Campiglia-Piombino	67	Populonia
		68	Piombino
Pistoia-Lucca	Pistoia-Pisa	69	Montecatini T.
		70	Montecatini C.
	Pistoia-Pisa	71	Borgo a Buggiano
		72	Pescia
	Pistoia-Pisa	73	Montecarlo
		74	Altopascio
	Pistoia-Pisa	75	Porcari
		76	Lucca
Pisa-Lucca-Aulla	Lucca-Aulla	77	Ponte a Moriano
		78	Decimo P.
	Lucca-Aulla	79	Borgo a Mozzano
		80	Bagni di Lucca
	Lucca-Aulla	81	Fornaci di Barga
		82	Barga Galliciano
	Lucca-Aulla	83	Castelnuovo G.
		84	Camporgiano
	Lucca-Aulla	85	Piazza al Serchio
		86	Minucciano
	Lucca-Aulla	87	Monzone
		88	S.Stefano Magra
Sarzana-Fornovo-Parma	Parma-La Spezia	89	Aulla
		90	Villafranca
	Parma-La Spezia	91	Pontremoli
		92	Borgotaro
	Parma-La Spezia	93	Ostia P.
		94	Roccamurata
	Parma-La Spezia	95	Berceto
		96	Solignano
	Parma-La Spezia	97	Selva del Bocchetto
		98	Citerna T.
	Parma-La Spezia	99	Fornovo
		100	Collecchio
Fornovo-Fidenza	Fidenza-Fornovo	101	Vicoforte
		102	Felegara
	Fidenza-Fornovo	103	Medesano
Lucca-Viareggio	Lucca-Viareggio	104	Noceto
		105	Massarosa

ELENCO DEI 25 SCENARI CAMPIONE

PUNTEGGIO GLOBALE	23234,9
COEFFICIENTE C5	3,6 7,7
COEFFICIENTE C4	3,6 8,1 4,2 7,7
COEFFICIENTE C3	228 26 81 4,2 7,7
COEFFICIENTE C2	336 68 20 6,8 8,0
COEFFICIENTE C1	94 23 72 4,4 7,7
Y: Numero ricettori tipo E	3244,9
X: Numero ricettori tipo D	2512,8
V: Numero ricettori tipo C	2239,2
U: Numero ricettori tipo B	2227,5
T: Numero ricettori tipo A	1111,1
S: Numero dei ricettori sensibili in una fascia di 250m	1066,8
R: Disposizione edifici attorno all'area di stazione	966,2
Q: Tipologia delle strade presenti in prossimità della stazione	719,3
P: Contributo sorgenti non ferroviarie (escluse le strade)	545,0
O: Contributo sorgenti ferroviarie	481,2
N: Numero annunci notturni	450,7
M: Numero annunci diurni	262,1
L: Presenza di altri schermi	256,3
I: Presenza di edifici schermanti	152,3
H: Presenza di tettoie schermanti	123,8
G: Contesto plano-altimetrico	123,5
F: Area di sonorizzazione	84,6
E: Dislocazione atlop.	69,2
D: N° atlop. Tipo D	64,2
C: N° atlop. Tipo C	39,8
B: N° atlop. Tipo B	29,6
A: N° atlop. Tipo A	23
STAZIONI COMPLESSE	Firenze SMN Firenze C.M. Pisa C.le Empoli La Spezia C.le Chiusi Livorno Centrale Firenze Statuto Cecina Grosseto Livorno Rosignano Montecatini T. Castelfiorentino Massa C. Cortina Cascina Prato Borgo Nuovo S.Vincenzo Orbetello Sinalunga Pontremoli Capalbio Zambra Pescia
STAZIONI DI MEDIA COMPLESSITA'	
STAZIONI SEMPLICI	

L'indice generale di criticità acustica CT, in base al quale è stata elaborata la macro-suddivisione, rispecchia in maniera abbastanza congrua il grado di complessità reale di una stazione.

Su tale indice, infatti, vanno a pesare in maniera significativa l'estensione planimetrica dell'impianto di stazione e il volume di traffico ferroviario circolante, che viene espresso, indirettamente, attraverso il numero degli annunci diurni e notturni.

Si è verificato che le stazioni del nodo fiorentino presenti nell'elenco, come Firenze Santa Maria Novella, Firenze Rifredi e Firenze Campo di Marte, si sono posizionate nei primissimi posti, così come altri nodi di una certa importanza, quali Pisa Centrale, Prato e Arezzo. Con il diminuire del valore dell'indice di Criticità Totale si nota che le differenze marcate che esistono fra le stazioni delle prime posizioni vanno progressivamente attenuandosi, fino ad arrivare alle ultime stazioni in classifica che presentano scarti molto ridotti; tale fenomeno può ricondursi al fatto che le stazioni più piccole presentano fra loro molte analogie, in termini di superficie occupata e di traffico gestito, che determinano punteggi molto simili.

Tra le "stazioni complesse" Firenze Santa Maria Novella risulta quella con i valori più elevati per quasi tutti i coefficienti; le altre stazioni incluse nel campione da analizzare sono quasi tutte quelle che si trovano ai primi posti della classifica, ad eccezione di Cecina e Grosseto che sono state "premiarie" e quindi incluse nel campione per i valori elevati che presentano sui coefficienti C4 e C5.

Lo stesso criterio di scelta si è usato per la determinazione dei 10 scenari campione all'interno dell'universo delle stazioni di "media complessità"; in questo caso, a causa della riduzione del margine di differenza fra i valori dell'indice di Criticità Totale, si è verificata la prevalenza del peso del coefficiente caratteristico sul coefficiente di Criticità Totale.

A conferma di quanto sopra, a titolo di esempio, si può osservare che la

TABELLA 4

ELENCO DEI 46 SCENARI DI BASE

ELENCO SSE PRESENTI NEL COMPARTIMENTO FERROVIARIO DI FIRENZE			
1	Civitella d'Agliano	24	Giuncarico
2	Orvieto LL	25	Follonica
3	Orvieto DD	26	Campiglia Marittima
4	Allerona	27	Bolgheri
5	Città della Pieve	28	Rosignano
6	Chiusi	29	Livorno
7	Montallese	30	Pisa
8	Farneta	31	Viareggio
9	Rigutino	32	Massa
10	Camucia	33	Sarzana
11	Olmo	34	La Spezia
12	Arezzo Nord	35	Aulla
13	Valdarno Sud	36	Pontremoli
14	Ponticino	37	Borgotaro
15	Montevarchi	38	Berceto
16	Incisa	39	Fornovo
17	Renacci	40	Rifredi
18	San Donato	41	Pistoia
19	Compiobbi	42	Pescia
20	Chiarone	43	Empoli
21	Orbetello	44	Cascina
22	Talamone	45	Osmannoro
23	Grosseto	46	Rigoli

stazione di Pontedera – seconda come punteggio di Criticità Totale – presentando valori del coefficiente C1 inferiori rispetto a Lucca e Massa Carrara, del coefficiente C2 inferiori rispetto a Montecatini Terme e Rosignano, alla fine non rientra fra quelle “rappresentative”. Al contrario, la stazione di Prato Borgo Nuovo, che potrebbe apparire per estensione e numero di transiti non particolarmente rilevante, in conseguenza dell'alto valore del coefficiente C4 (situazione di campo libero tra sorgenti e ricettori) assurge a scenario caratteristico da studiare.

Fra le stazioni piccole, gli scenari scelti risultano nuovamente quelli delle stazioni che presentano i più alti valori del coefficiente di Criticità Totale; in questo caso, infatti, dove i punteggi sono molto bassi, piccole variazioni di qualunque indice sono sufficienti a far acquisire una posizione abbastanza rilevante nel punteggio finale alle stazioni che presentano almeno un coefficiente elevato.

Si è preferito non includere fra gli scenari campione quello di Aulla-Lunigiana, nonostante presenti un valore molto elevato sul coefficiente C1: in tale stazione, infatti, è previsto che l'impianto di diffusione venga modificato in tempi brevi rendendo così non rappresentativo lo scenario acustico attuale. Tale stazione è stata quindi esclusa dal campione e sostituita

ta con la successiva in classifica (Pescia), essendo Pontremoli già stata scelta in precedenza per il parametro C2.

Si riporta nella tabella 3 riepilogativa degli scenari campione, con il punteggio ottenuto per ogni variabile e per i coefficienti parziali, oltre al punteggio complessivo dello scenario.

3.2. Scelta dei 10 scenari campione per le sottostazioni elettriche

Partendo da un insieme di 46 stazioni di base, che sono riportate nella tabella 4, si è giunti a definire un insieme di 10 scenari campione, in parte selezionate in base al valore di criticità complessiva e in parte in base alla criticità rilevata rispetto ai parametri caratteristici, ottenute dall'applicazione degli algoritmi descritti nel paragrafo 2.1.2.

Per la scelta delle sottostazioni rappresentative sono state prese a riferimento criticità di tipo parametrico e criticità di tipo aggregato.

3.2.1. Criticità parametrica

È stato deciso di inserire nell'insieme delle 10 sottostazioni elettriche rappresentative di tutte e 46 le sottostazioni analizzate un rappresentante critico per ogni singolo parametro. A tale scopo è stato effettuato un confronto, parametro per parametro, dei valori delle singole funzioni; per ogni parametro è stato effettuato un riordinamento dell'elenco delle sottostazioni a partire dalla più critica.

Da ogni elenco è stato estratto il rappresentante più critico, quello con il valore più elevato della criticità di parametro.

Laddove si fossero verificati casi di uguaglianza del valore di criticità del singolo parametro, in favore di sicurezza è stato deciso di scegliere il rappresentante che avesse il maggior valore dell'indice di criticità complessiva. Si riportano in tabella 5 le sottostazioni selezionate per ogni parametro.

3.2.2. Criticità globale

Una volta assegnati i 5 scenari rappresentativi per parametro, gli altri 5 scenari rappresentativi sono stati indi-

TABELLA 5

ELENCO DEI 5 SCENARI CAMPIONE SCELTI PER CRITICITÀ PARAMETRICA

Potenza sonora	Fattore di carico	Abitanti equivalenti	Indice di abbattimento	Valutazione parametri accessori
Incisa	Rifredi	Viareggio	Rigoli	Cascina

viduati in considerazione del valore dell'indice di criticità globale.

Dall'insieme delle possibili scelte sono state però escluse a priori le sottostazioni già selezionate secondo i criteri parametrici, in modo da eliminare la ridondanza dell'informazione e di garantire la maggior rappresentatività del campione estratto sul complesso delle sottostazioni.

Si riportano in tabella 6 le sottostazioni selezionate sulla base dell'indice di criticità globale.

4. Conclusioni

In questa memoria sono state proposte tre metodologie originali per la valutazione del contributo prodotto da altoparlanti di stazione, sottostazioni elettriche e gruppi elettrogeni in ambito ferroviario, sorgenti diverse dalla circolazione dei treni ma che concorrono, in quanto componenti dell'"infrastruttura" così come definita dal DPR 459/98, all'inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario.

Sono stati messi a punto e sviluppati opportuni metodi per raccogliere i dati più significativi e definire acusticamente ogni singolo scenario considerato. Si è considerata e caratterizzata la specifica sorgente (mediante misure fonometriche) e lo scenario nel suo complesso (mediante censimento dei ricettori, definizione dei dispositivi rumorosi, valutazione di elementi acusticamente significativi ecc.).

Le procedure presentate sono state sperimentate su un insieme di 219 casi studio appartenenti al compartimento RFI di Firenze. Questa fase applicativa ha consentito:

- nel caso degli altoparlanti e delle sottostazioni elettriche, grazie alla definizione di uno specifico algoritmo di calcolo per la selezione di un numero di scenari campione acusticamente rappresentativi, di poter ricondurre i risultati delle valutazioni di impatto acusti-

ELENCO DEI 5 SCENARI CAMPIONE SCELTI PER CRITICITÀ GLOBALE

Posizione 1	Posizione 2	Posizione 3	Posizione 4	Posizione 5
Pisa	Empoli	Orvieto Linea Lenta	Montevarchi	Compiobbi

co eseguite sugli scenari campione, a tutto l'universo dei possibili scenari di base;

- nel caso dei gruppi elettrogeni, di stabilire il loro "tempo" massimo di funzionamento, in modo da rispettare i limiti previsti dal DPR 459/98, sia per il periodo di riferimento diurno che per quello notturno.

Si può concludere che le tre procedure sviluppate e sperimentate nel Compartimento RFI di Firenze permettono di valutare in modo corretto e completo il rumore che si può attribuire, in base alla definizione della Legge, all'infrastruttura ferroviaria, aggiungendosi alle Specifiche Tecniche che definiscono le metodiche di misura delle emissioni acustiche prodotte dal materiale rotabile in transito sui tratti di linea.

Più in generale il lavoro svolto dagli esperti in Acustica del Compartimento di Firenze ha portato a una metodologia, sperimentata e validata, che può essere applicata in tutte le realtà della rete ferroviaria nazionale dove è necessario considerare ed eventualmente mitigare il contributo all'inquinamento acustico prodotto da sorgenti di rumore quali altoparlanti, gruppi elettrogeni e sottostazioni elettriche, certamente "secondarie" rispetto al transito dei convogli, ma talvolta significative per le loro caratteristiche di emissione tonale e stazionaria e comunque facenti parte dell'infrastruttura ferroviaria.

E' evidente che la conoscenza dei livelli di rumore tipici delle sorgenti studiate può suggerire, se del caso, alcuni accorgimenti per limitarlo, quali ad esempio la modifica dell'orientamento degli altoparlanti e la regolamentazione dei tempi di utilizzo dei gruppi elettrogeni, ovvero portare alla definizione di interventi migliorativi, di natura tecnica e/o gestionale, da effettuare sugli impianti rumorosi.