



## Impatto acustico dei cantieri ferroviari per trazione elettrica e lavori di armamento

Le linee guida di RFI

Dott. Ingg. Angelo PEZZATI<sup>(\*)</sup>, Michele LINCESSO<sup>(\*\*)</sup>, Sergio LUZZI<sup>(\*\*\*)</sup>,  
Geom. Bruno CHIRICI<sup>(\*\*\*\*)</sup>

### 1. Introduzione

Le attività dei cantieri per la manutenzione delle linee ferroviarie presentano problematiche di impatto acustico di particolare complessità in zone comprendenti ricettori abitativi e sensibili (scuole, ospedali, case di cura e di riposo). Vengono infatti svolte principalmente nel periodo notturno e prevedono l'utilizzo di attrezzature e macchinari particolarmente rumorosi.

In questa memoria viene presentata la metodologia che sta alla base delle Linee Guida per la valutazione dell'impatto acustico dei cantieri ferroviari e per la predisposizione e gestione delle relative richieste di autorizzazione come previsto dalla legge 447/95 ("Legge quadro sull'inquinamento acustico"), dai suoi successivi decreti attuativi e dall'insieme della normativa e legislazione vigente, utilizzabili per le tipologie di cantieri operanti sulle linee RFI relativi a trazione elettrica e lavori di armamento (internalizzati e appaltati).

Questa metodologia affronta in modo sistematico il tema del rumore prodotto dai cantieri ferroviari.

A partire da una serie di scenari di emissione, analizzati separatamente, comprendenti le più importanti attività di cantiere, si giunge alla definizione di valori di rumore generato e propagato adattabili ai più diversi scenari di immissione e perciò utilizzabili in un'ampia varietà di contesti applicativi.

Nella valutazione del cantiere deve essere fatta una prima analisi della tipologia dei macchinari utilizzati e della contemporaneità delle lavorazioni rumorose.

Lo studio di questi elementi, effettuato dai tecnici di RFI o delle ditte appaltatrici è fondamentale e anticipa ogni esame successivo. Devono infatti essere favoriti l'impiego di macchinari a minor impatto acustico e, nei limiti del possibile, una distribuzione delle attività che eviti il sommarsi di fonti rumorose.

Dato che la sensibilità dei cittadini al problema dell'inquinamento acustico è sempre maggiore, sempre più accurata deve essere la progettazione dei cantieri e si devono ricercare le soluzioni meno impattanti.

In particolari situazioni sarà necessario frazionare l'intervento in due o più sottointerventi, compatibili, tesi al raggiungimento dell'obiettivo acustico.

Un altro aspetto da considerare deve essere la sensibilità del committente verso gli adempimenti necessari per il rispetto di quanto previsto dalla Legge e dalla regolamentazione delle attività rumorose, in particolare per quanto riguarda la predisposizione della documentazione tecnica di analisi dell'impatto acustico, a supporto della richiesta di autorizzazione in deroga ai limiti previsti, ove le circostanze lo richiedano.

### 2. Materiali e metodi

#### 2.1. L'articolazione delle Linee Guida

L'articolazione generale del lavoro di valutazione dell'impatto acustico di un cantiere ferroviario, ha ispirato l'articolazione delle Linee Guida. Questa valutazione di impatto acustico comprende quattro fasi o capitoli operativi, ciascuno dei quali strutturato in attività:

1. **SORGENTI** - caratterizzazione acustica dei macchinari e delle attività di cantiere;
2. **MODELLI DI EMISSIONE** - modellazione delle sorgenti singole e degli scenari di emissione in campo libero;
3. **MODELLI DI IMMISSIONE** - adattamento agli scenari di immissione presenti sul territorio;
4. **DOCUMENTAZIONE** - autorizzazioni, deroghe, protocolli.

<sup>(\*)</sup> RFI S.p.A., già Direttore Compartimentale Infrastruttura – Firenze.

<sup>(\*\*)</sup> RFI S.p.A., Direzione Manutenzione Sicurezza – Roma.

<sup>(\*\*\*)</sup> Consigliere Nazionale Associazione Italiana di Acustica. Coordinatore gruppo acustica Ordine degli Ingegneri di Firenze.

<sup>(\*\*\*\*)</sup> RFI S.p.A., Referente Ambientale Direzione Compartimentale Infrastruttura – Firenze.

## 2.2. Sorgenti e modellistica di emissione

In questa fase si procede alla raccolta dei dati e alle rilevazioni fonometriche dei livelli di emissione delle diverse tipologie di sorgenti, distinguendo fra Sorgenti Scenario (attività di cantiere) e Sorgenti Macchinario. Dallo studio degli scenari di emissione tipici dei cantieri si passa così alla costruzione dei modelli di emissione in campo libero, validati attraverso misure su scenari campione.

Nella prima versione delle Linee Guida si fa riferimento a 10 scenari di emissione standard, rappresentativi di 10 possibili tipologie di lavorazione eseguite dai cantieri ferroviari (armamento, T.E., ecc.), e delle sorgenti che ne fanno parte. Ciascuna sorgente può essere considerata singolarmente e come parte di un sistema caratterizzato da precise specifiche di utilizzo e di contemporaneità degli elementi che ne fanno parte.

In allegato al fascicolo di linee guida si riportano le schede degli scenari di emissione e le schede di emissione dei singoli macchinari.

Per ogni macchinario oggetto di studio vengono acquisiti i dati relativi alle caratteristiche quantitative e qualitative delle rispettive emissioni acustiche.

Si procede così alla determinazione dei valori di potenza sonora da associare ad ogni sorgente e ad ogni tipologia di scenario che si prevede di includere nel modello e nelle procedure standard di valutazione dell'impatto acustico contenute nelle Linee Guida.

Dalle schede di emissione delle sorgenti (singoli macchinari o scenari di emissione) si ricavano i sonogrammi di emissione in campo libero, riferiti a tempistiche di utilizzo e di contemporaneità definite come standard.

Si deve verificare la congruenza delle tempistiche di utilizzo e di contemporaneità previste dal programma di cantiere, dei macchinari e degli scenari di emissione specifici delle lavorazioni in esame con le tempistiche standard.

Ove tale congruenza non sia verificata è possibile applicare fattori correttivi secondo un algoritmo di adattamento allegato alle Linee Guida.

## 2.3. Impiego diretto su scenari di immissione tipici

Si sono individuati per ciascuna sorgente (macchinario singolo o scenario di emissione) alcuni scenari di immissione tipici, legati alla tipologia dei ricettori, alla loro distanza dall'area di cantiere, all'andamento delle curve isofoniche che rappresentano la propagazione in campo libero del rumore irradiato dalla sorgente nelle varie direzioni.

Ove si verificano le opportune condizioni di congruenza descritte al punto precedente, o le si raggiungano mediante l'applicazione dei citati fattori correttivi, è possibile procedere alla derivazione diretta del livello di impatto acustico sui ricettori degli scenari tipici.

Il livello di emissione, definito dalla legge come "valore massimo di rumore che può essere emesso da una singola sorgente nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori", corrisponde in questo caso al livello della curva isofonica che tocca la facciata del ricettore, ovvero della prima curva isofonica che si incontra sul segmento di congiunzione ricettore-sorgente, in prossimità del ricettore.

## 2.4. Adattamento modellistico su scenari atipici

Quando le condizioni di congruenza con gli scenari tipici non sono soddisfatte si deve procedere all'adattamento del modello di emissione allo scenario di immissione.

Seguendo la procedura di utilizzo dello specifico software che implementa la procedura di calcolo della Norma ISO 9613-2, si effettua la verifica dei dati acquisiti e si costruisce un modello di emissione ad hoc per la sorgente o lo scenario.

Anche in questo caso per quanto riguarda i valori in ingresso forniti al modello vengono applicati i dati di potenza sonora relativi alle tipologie di macchinario e di attività previste da ciascuna lavorazione e sono verificate o adattate le tempistiche, come descritto nel paragrafo 2.2.

Il valore di emissione è così calcolato come contributo singolo e/o complessivo delle sorgenti che compongono il fronte di emissione di ciascuno scenario di studio. Nel caso di scenario multisorgente sono considerate le specifiche di funzionamento, le caratteristiche di emissione e le procedure di calcolo previste dalla Norma ISO 8297 per la determinazione del livello di emissione da associare alla sorgente equivalente che rappresenta l'insieme delle sorgenti e i relativi contributi ponderati. La procedura per la definizione della sorgente equivalente è descritta in un allegato delle Linee Guida.

Si procede così alla simulazione mediante dei valori di rumore prodotti dal macchinario o dallo scenario a determinate distanze normalizzate e alla produzione di una planimetria di rappresentazione delle curve di isolivello del rumore prodotto nello scenario reale dalla sorgente considerata.

In questo caso si rende necessaria la validazione del modello di simulazione per ogni scenario analizzato; deve essere effettuata una campagna di rilevazioni fonometriche durante l'effettivo svolgimento dell'attività del cantiere meccanizzato relativo allo scenario oggetto di studio, in un numero sufficiente di postazioni, secondo la procedura descritta nelle Linee Guida e sommariamente riportata nel diagramma di figura 1.

Per i successivi utilizzi in scenari di immissione atipici di macchinari e scenari di emissione già considerati come sorgenti in contesti applicativi reali sarà possibile utilizzare i risultati delle misure di validazione già effettuate.

## 2.5. Misure tecniche e procedurali per la mitigazione

Ove non siano rispettati i limiti previsti per i livelli di emissione e di immissione assoluti si deve procedere alla richiesta di autorizzazione in deroga a tali limiti.

E' necessario però prevedere una serie di possibili misure per la mitigazione del rumore ed allegarne la descrizione nella documentazione tecnica allegata alla richiesta.

In un apposito allegato delle Linee Guida sono descritte, le principali opere di mitigazione che è possibile inserire negli scenari di propagazione del rumore prodotto dai cantieri, per ridurre il livello di emissione alla sorgente o per interrompere i cammini di propagazione verso i ricettori. Le modalità di inserimento delle principali opere sono descritte anche mediante l'impiego di esempi.

Sono descritti, in forma di progetto standard, interventi per l'interruzione della propagazione sorgente-ricet-

tore (tipo barriere mobili, carter, recinzioni,...) che presentano caratteristiche di rapidità e versatilità di installazione, resistenza alle intemperie, possibilità di lavaggio, e soprattutto adattabilità a molteplici e complesse configurazioni di sorgenti. L'interposizione lungo i cammini principali di propagazione di queste barriere schermanti potrà garantire nel momento di attività della sorgente la riduzione generalizzata delle emissioni di rumore dal cantiere e specifica delle emissioni prodotte dalle sorgenti più significative, a livelli tali da ricondurre i livelli di immissione presso i ricettori esposti, a valori inferiori ai limiti previsti dalla legge e dalla classificazione acustica comunale o, comunque, inferiori ai livelli limite richiesti in deroga.

Mentre l'adozione di misure tecniche risulta spesso di difficile attuazione pratica, sono più perseguibili le misure organizzative e procedurali per il contenimento delle emissioni riportate applicabili nel contesto generale di ciascuno scenario di emissione e adattabili allo specifico

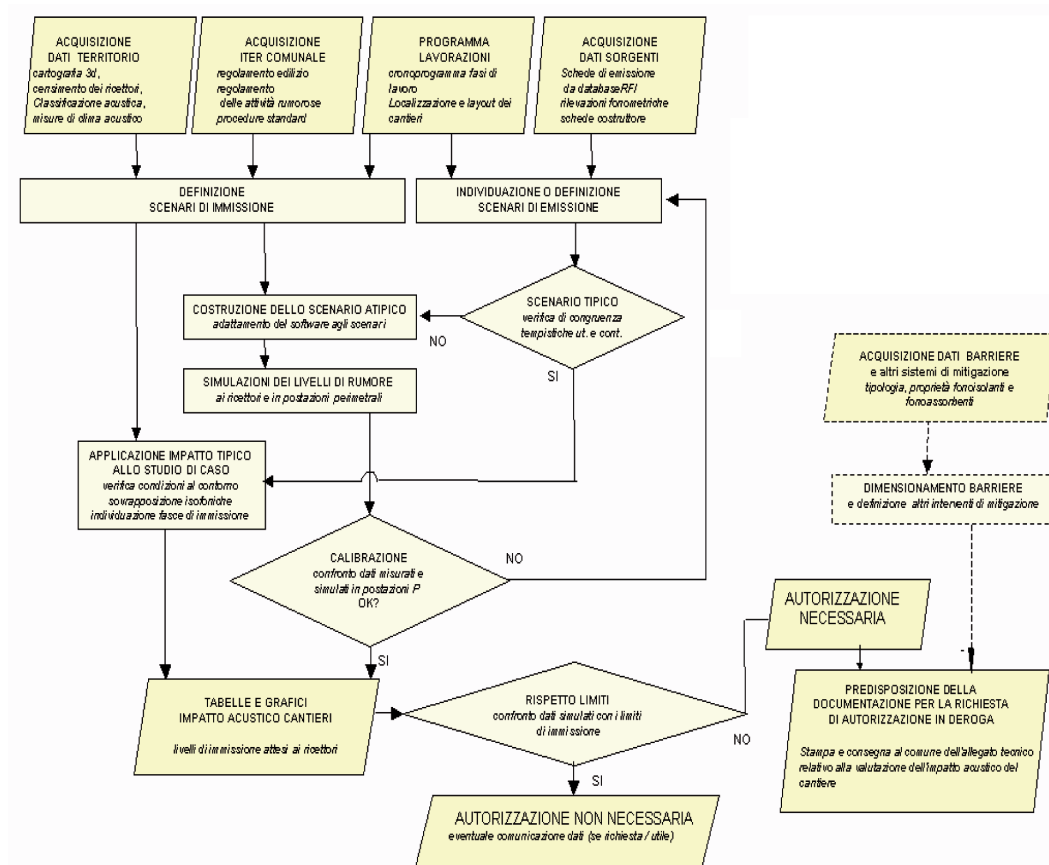


Fig. 1 – Procedura tecnica delle Linee Guida.

dei diversi scenari di immissione: si tratta di accorgimenti comportamentali, tecnici e procedurali per la limitazione del disturbo presso i ricettori, indicazioni per misure di tipo organizzativo e procedurale legate all'ottimizzazione acustica del cronogramma di cantiere e alla riduzione dei contributi maggiormente impattanti o relativamente più significativi nel calcolo dei livelli assoluti di immissione sul tempo di riferimento diurno e notturno.

### 2.6. La procedura tecnica

In fig. 1 è rappresentato il diagramma di flusso della procedura tecnica che descrive il processo di valutazione dell'impatto acustico secondo la metodologia sopra descritta.

## 3. Validazione della metodologia mediante studi di caso

### 3.1. Caratterizzazione delle emissioni

Per la validazione della metodologia, durante lo svolgimento delle diverse lavorazioni di cantiere vengono effettuate misurazioni fonometriche in prossimità della sorgente e in prossimità dei ricettori. Le prime servono per caratterizzare in modo corretto le emissioni dei singoli macchinari impiegati nelle diverse lavorazioni, le seconde per valutare i livelli di rumorosità prodotto da tali macchinari sulle facciate dei ricettori.

Contemporaneamente alle misure fonometriche si effettuano riprese video durante il susseguirsi delle operazioni di cantiere. Soprattutto per le lavorazioni di maggior complessità, come ad esempio quelle di demolizione e varo scambio, sono presenti nelle diverse fasi di lavorazione numerosi macchinari che vengono impiegati con tempi e modalità diverse: il sistema migliore per ottenere queste informazioni in maniera precisa è quello di filmare i vari processi.

Nella successiva fase di analisi delle time histories del rumore, è semplice riuscire ad associare le evidenze ac-

ustiche all'impiego dei vari macchinari, ed è altresì possibile avere indicazioni precise sull'effettivo impiego di ogni singolo dispositivo.

Nell'esperienza fatta in occasione degli studi di caso per la validazione della metodologia, si sono dimostrate utili le informazioni fornite dagli operatori sul funzionamento dei macchinari e sul loro impiego a seconda delle operazioni da compiere, fornendoci delle indicazioni preziose per poter procedere alla definizione di uno scenario acustico "standard" per ogni situazione considerata.

Ad esempio, nel caso dello scenario di "demolizione e varo scambio" sono state effettuate misurazioni e riprese video per tutta la durata delle operazioni, che generalmente vengono svolte in poco più di quattro ore.

Sono stati impiegati tre sistemi fonometrici, di cui uno mobile e due fissi. Gli strumenti fissi sono stati posizionati uno in prossimità di un ricettore e l'altro in mezzo ad un'area libera tra sorgente e ricettore, mentre con lo strumento mobile sono state misurate le emissioni delle macchine del cantiere nelle diverse condizioni di utilizzo.

Alcune sorgenti producono emissioni prevalentemente stazionarie mentre altre, che sono in continuo movimento, producono emissioni discontinue, impulsive, ecc.

L'elaborazione dei dati così raccolti ha permesso di riuscire a riprodurre in maniera piuttosto fedele questo scenario anche sul software di simulazione impiegato, consentendoci di valutare in maniera accurata l'impatto acustico prodotto da questa operazione di cantiere su tutti i ricettori maggiormente esposti.

Alcune immagini relative alle varie fasi di lavorazione sono riportate in fig. 2.

### 3.2. Immissioni prodotte dal cantiere e generazione delle mappe acustiche

Attraverso la modellazione del cantiere e delle zone circostanti sul software di simulazione vengono riprodotti



Fig. 2 – Fasi di lavorazione nell'attività di "demolizione e varo scambio".

TABELLA 1

## CRONOPROGRAMMA DELL'ATTIVITÀ DI "DEMOLIZIONE E VARO SCAMBIO"

Periodo di lavorazione: Notturno							
Modello macchinario	Codifica emissioni	Numero di macchinari	ORE DI LAVORAZIONE				Fattore di utilizzo nell'ora più rumorosa (%)
			1	2	3	4	
Caricatore	SC - M05	2/1					50
Foratrice	SC - M10	2					5
Incavigliatrice in linea	SC - M12	2					5
Incavigliatrice manuale	SC - M13	1					5
Gruppo elettrogeno	SC - M19	2					100
Cannello per taglio rotaia	SC - M21	2					5
Rincalzatrice in lavorazione	SC - M22 A	1					80

ti gli elementi caratteristici dello scenario acustico di immissione presente durante le lavorazioni. La necessità di riferire la valutazione del contributo rumoroso prodotto dal cantiere all'intero periodo di riferimento diurno o notturno rende necessario considerare non solo le emissioni di ogni singolo dispositivo rumoroso in termini assoluti, ma anche come e per quanto tempo si protrae l'impiego di ciascun macchinario nel susseguirsi delle lavorazioni. Si procede pertanto a definire in modo accurato la tempistica delle varie operazioni sulla base delle riprese video, e questa elaborazione permette di definire, per ogni diversa fase lavorativa, un cronoprogramma delle lavorazioni.

In tabella 1 è riportato un esempio di cronoprogramma relativo alla lavorazione di demolizione e varo di uno scambio ferroviario.

Sulla base di questa elaborazione, sono state caratterizzate anche dal punto di vista cronologico le emissioni delle sorgenti, e si è quindi proceduto alla validazione acustica degli scenari emissivi utilizzando i rilievi fonometrici effettuati in prossimità del cantiere oggetto di studio.

E' infine possibile procedere alla generazione delle mappe acustiche relative al rumore introdotto nell'ambiente da ogni lavorazione sul tempo di riferimento considerato. Tali mappe consentono di individuare nell'intorno della zona di cantiere le curve di isolivello acustico, e possono essere impiegate per individuare una fascia di rispetto sulla base dei limiti della classificazione acustica che non si intendono superare, e di conseguenza individuare i ricettori presso i quali si verifica il superamento di tali soglie. Attraverso questa procedura semplice e affidabile è possibile perciò determinare la quantità e la qualità dei superamenti a cui sono soggetti i ricettori impattati per prevedere o meno la richiesta di deroga per il rumore prodotto dall'attività di cantiere.

In fig. 3 è riportato un esempio di tale mappa ad una quota di 4 metri sul piano di campagna relativa alla lavorazione di demolizione e varo scambio.

Sono riportate sulla mappa una serie di curve isofoniche che rappresentano le variazioni di pressione sonora al variare della distanza.

#### 4. Conclusioni

La manutenzione delle linee ferroviarie può essere ben rappresentata dal punto di vista acustico come un insieme definito di attività di cantiere, comprendenti sorgenti di rumore che possono produrre impatto acustico su aree comprendenti edifici ricettori.

A partire dall'esperienza maturata mediante la soluzione di numerosi casi di studio, combinando la conoscenza delle tecniche di manutenzione delle linee ferroviarie con i risultati di analisi fonometriche, implementazioni modellistiche e attività progettuali, è stata definita una metodologia standard per la corretta e completa valutazione del rumore prodotto dagli specifici macchinari e della sua possibile mitigazione.

E' possibile così trattare la questione in modo omogeneo e congruente presso le diverse sedi degli interventi di manutenzione, ottimizzando i tempi di produzione dei documenti di valutazione e di rilascio delle autorizzazioni. La determinazione degli scenari di emissione e del relativo rumore caratteristico viene infatti effettuata una sola volta per tutte. La determinazione dei livelli di impatto acustico ai ricettori dovrà ovviamente essere effettuata per ogni diverso scenario di immissione, applicando però ai diversi contesti di immissione il modello corrispondente e i medesimi dati di emissione delle sorgenti.

Questa metodologia, validata attraverso applicazioni a scenari diversi e "critici", costituisce la base tecnica e procedurale di un fascicolo di Linee Guida per la predisposizione e gestione delle richieste di autorizzazione allo svolgimento delle attività, per le tipologie di cantieri operanti sulle linee RFI relative a trazione elettrica e lavori di armamento, eventualmente in deroga ai limiti previsti dalla Legislazione vigente, nel rispetto delle regolamentazioni comunali.

#### Definizioni

*Inquinamento acustico:* "l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provo-

care fastidio o disturbo al riposo e alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi... dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno o tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi".

**Valori limite di emissione:** "il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora".

**Valori limite di immissione:** "il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori".

**Valori limite assoluti:** "determinati con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale".

**Valori limite differenziali:** "determinati con riferimento al livello differenziale di rumore, ovvero la differenza tra i livelli equivalenti di rumore ambientale e di rumore residuo".

**Sorgente specifica:** "sorgente sonora selettivamente identificabile che costituisce la causa del potenziale inquinamento acustico".

**Tempo di riferimento ( $T_R$ ):** "rappresenta il periodo della giornata all'interno del quale si eseguono le misure... diurno compreso fra le h 6,00 e le h 22,00 notturno compreso fra le h 22,00 e le h 6,00".

**Tempo di osservazione ( $T_{oss}$ ):** "periodo di tempo compreso nel tempo di riferimento nel quale si verificano le condizioni di rumorosità che si intendono valutare".

**Tempo di misura ( $T_M$ ):** "all'interno di ciascun tempo di osservazione si individuano uno o più tempi di misura ... in modo tale che la misura sia rappresentativa del fenomeno".

**Livello di rumore ambientale:** "è il livello di rumore equivalente di pressione sonora ponderato A, prodotto da

tutte le sorgenti di rumore in un dato luogo e durante un determinato tempo. Il rumore ambientale è costituito dall'insieme del rumore residuo e da quello prodotto dalle specifiche sorgenti disturbanti con l'esclusione degli eventi sonori singolarmente identificabili di natura eccezionale rispetto al valore ambientale della zona. E' il livello che si confronta con i limiti massimi di esposizione: 1) nel caso dei limiti differenziali è riferito a  $T_M$  2) nel caso dei limiti assoluti è riferito a  $T_R$ ".

**Livello di rumore residuo:** "è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A, che si rileva quando si esclude la specifica sorgente disturbante. Deve essere misurato con le identiche modalità di misura impiegate per la misura del rumore ambientale e non deve contenere eventi sonori atipici".

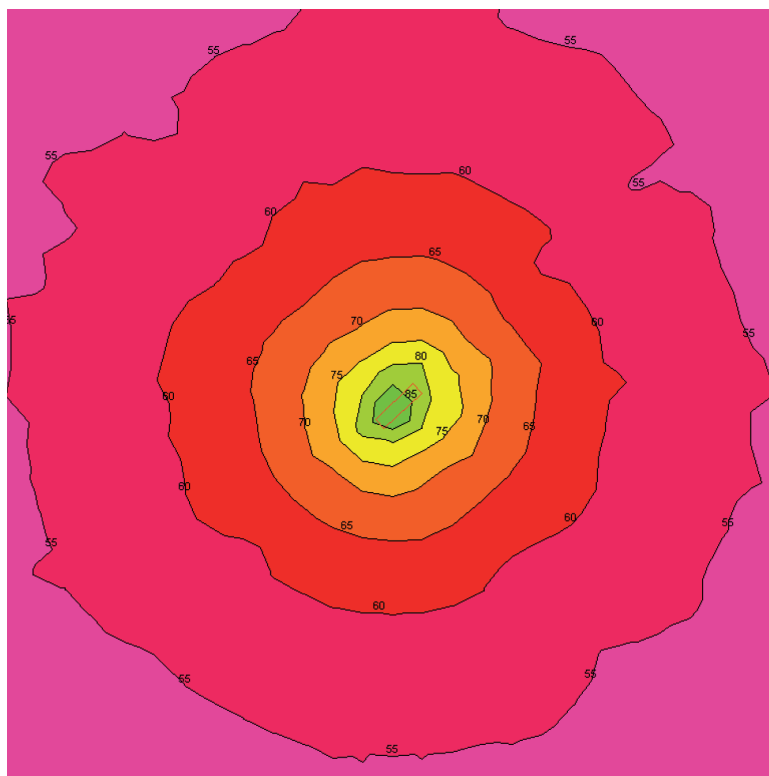


Fig. 3 – Esempio di mappa acustica dell'attività di "demolizione e varo scambio".