



## SUSTAINABLE INNOVATIONS FOR LONGLIFE ENVIRONMENTAL NOISE TECHNOLOGIES

### LIFE SILENT le nuove barriere antirumore ferroviarie, più sostenibili e silenziose

Tra i principali obiettivi del progetto LIFE SILENT c'è lo sviluppo di barriere antirumore basse innovative per il settore ferroviario.

L'obiettivo principale è quello di progettare e testare prototipi di barriera che utilizzino materiali riciclati e tecnologie avanzate, come i metamateriali, per migliorare le prestazioni acustiche riducendo al contempo l'impatto ambientale. La nuova soluzione punta non solo a incrementare l'efficacia fonoassorbente dei manufatti rispetto alle barriere tradizionali, ma anche a superarne i limiti legati a ingombro, costi e impatto paesaggistico. Le barriere a bassa altezza possono infatti essere installate direttamente lungo l'infrastruttura ferroviaria senza necessità di fondazioni complesse, con vantaggi significativi in termini di rapidità di posa, minori costi di realizzazione e minore impatto visivo sul contesto urbano.

Parallelamente, il progetto mira a validare queste soluzioni attraverso prove di laboratorio e test in campo, nonché a valutarne la sostenibilità complessiva mediante analisi LCA e la predisposizione di certificazioni EPD, in modo da garantirne la replicabilità e l'adozione su larga scala a livello europeo.

Di seguito alcuni dettagli sul prototipo in metamateriale e sulla tecnica di misura sviluppata per la sua caratterizzazione acustica.

## Il prototipo in metamateriale

La geometria ridotta di una barriera bassa richiede una necessaria ottimizzazione dell'impedenza acustica della sua superficie per migliorarne le prestazioni. Nell'ambito del progetto LIFE SILENT, questo è stato fatto progettando dei prototipi di metamateriali acustici. I metamateriali sono definiti come una famiglia di composti artificiali che presentano caratteristiche non presenti in natura, come la densità di massa negativa o il modulo di compressibilità negativo. L'efficacia dei metamateriali acustici è determinata in gran parte dalla geometria del loro design, piuttosto che dal materiale di cui sono composti. Questa caratteristica li rende particolarmente utili per applicazioni come le barriere antirumore, costantemente esposte ad ambienti esterni e condizioni avverse lungo le linee ferroviarie, in quanto possono essere realizzati con materiali resistenti alle intemperie.

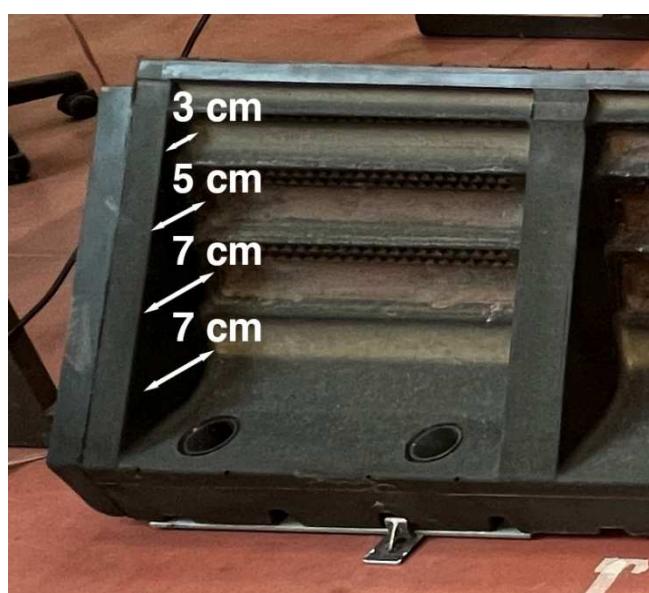
L'ottimizzazione della superficie della barriera si basa sulla combinazione di diverse unità (brick), ciascuna volta ad assorbire determinati intervalli di frequenze del rumore generato dall'interazione ruota-binario sfruttando al massimo le geometrie disponibili sulla barriera (Figura 1). La superficie è composta da 11 brick che sfruttano due tipologie diverse di risonatori, 6 sono basati su risonatori di Helmholtz a collo integrato (NEHR) e 5 su canali Fabry-Pérot (Canali FP).

I NEHR (Figura 2a) sono stati progettati per l'assorbimento acustico nel range 100 Hz – 1700 Hz. Queste unità assorbono il suono tramite risonatori perfetti e imperfetti in base alle geometrie disponibili sulla barriera. Sono collocati, infatti, nelle sezioni più profonde della barriera, con vincoli di profondità massima di **7 cm o 5 cm**.

I Canali FP (Figura 2b) sono stati selezionati per coprire il range di frequenza più alto, da **1700 Hz a 5000 Hz**. Poiché sono destinati alle zone con minore profondità disponibile (massimo **3 cm**), sono stati disegnati in modo da essere **piegati** per mantenere l'efficacia anche alle frequenze più basse del loro range operativo.

Un vincolo di progettazione importante è stato mantenere il diametro delle aperture non inferiore a **4 mm** per facilitare la manutenzione, cruciale data l'installazione in ambienti esterni.

I prototipi dei mattoni sono stati realizzati tramite **stampa 3D**, utilizzando sia la tecnica di **Stereolitografia (SLA)** che la **Modellazione a Deposizione Fusa (FDM)**, al fine di valutare la robustezza della progettazione a diversi gradi di accuratezza di stampa. I risultati di laboratorio (Figura 3) ottenuti misurando le singole unità nei tubi d'impedenza mostrano il potenziale delle applicazioni dei metamateriali acustici in scenari reali.



*Figura 1- I vincoli geometrici per la progettazione dei metamateriali sono dati dallo spazio disponibile sulla superficie della barriera. A profondità diverse si potranno progettare unità metamateriali diverse, accordandole su determinate frequenze.*



*Figura 2 – a) Multirisonatore di Helmholtz a collo integrato (NEHR). B) Multirisonatore basato su Canali Fabry-Pérot (Canali FP).*

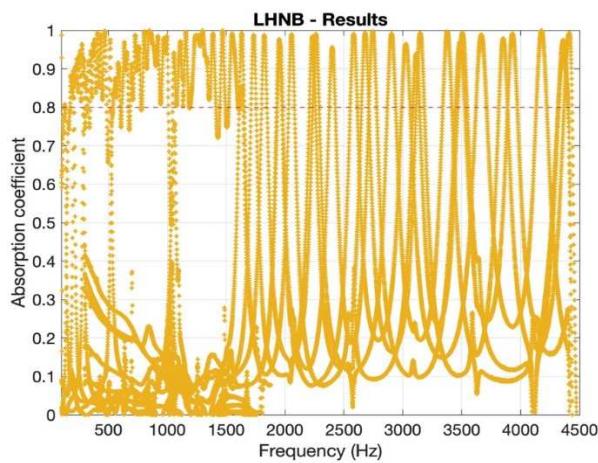
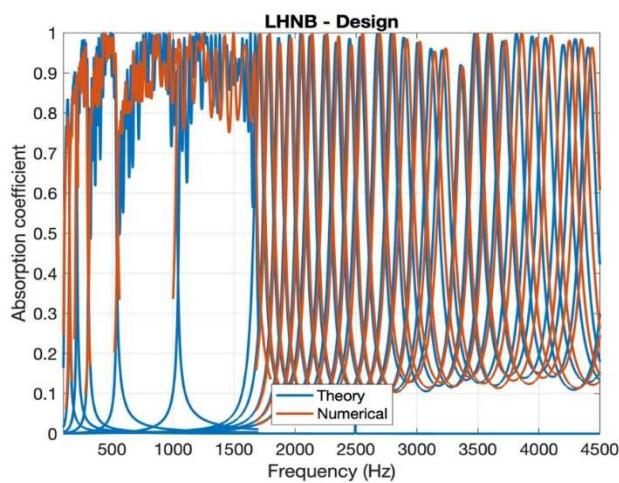


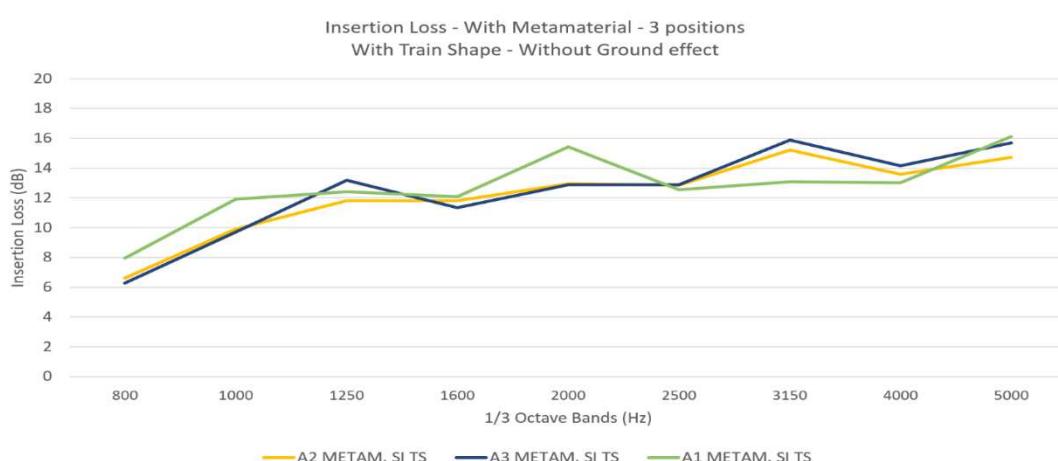
Figura 3 – Confronto fra la progettazione analitica e numerica (in alto) delle 11 unità metamateriali e i risultati ottenuti dalle misurazioni nel tubo d’impedenza (in basso) dei prototipi stampati in 3D.

### La caratterizzazione acustica delle barriere antirumore basse

Le barriere anti-rumore basse (Low-Height Noise Barrier) sono una soluzione efficiente sia in termini di costi che di spazio per mitigare il rumore ferroviario, utili specialmente in aree urbane ad alta densità di popolazione. La misura delle prestazioni acustiche di una barriera bassa presenta delle sfide significative a causa delle ridotte dimensioni della stessa e del posizionamento vicino al suolo della sorgente sonora (collocata nel punto corrispondente alla ruota del treno) e del microfono (Figura 1b). Questa geometria rende complicata la misura e il calcolo dell’Insertion Loss della barriera.



Figura 1; a) particolare di una barriera bassa con metamateriale installato; b) configurazione di misura con schermo riflettente (simulazione sagoma del treno); c) microfono e sorgente sonora (misura in campo libero bassa); d) microfono e sorgente sonora (misura in campo libero alta); e) sistema di misura portatile: PC, interfaccia audio e Power Station.



*Figura 2. Esempio di Insertion Loss di una barriera bassa, in diverse posizioni.*

Per ridurre, nella misura, l'influsso del suono riflesso dal terreno e di quello diffratto dal bordo superiore della barriera si utilizza un microfono ultra-direttivo. L'altezza ridotta della barriera incrementa inoltre, per ragioni fisiche e di analisi del segnale, a causa della ridotta "superficie attiva", la minima frequenza per cui sono validi i risultati della misura. Sperimentalmente, sulla faccia della barriera bassa rivolta verso il treno sono state applicate varie tipologie di metamateriali (Figura 1a), sistemi innovativi molto compatti per l'assorbimento acustico, al fine di ridurre il rumore ferroviario riflesso dalla barriera verso il treno che, dopo un'ulteriore riflessione sulla superficie laterale del treno stesso, riuscirebbe a "scavalcare" la barriera. La misura della prestazione acustica della barriera bassa include quindi sia una misura di isolamento che di assorbimento.

Il metodo di misura in fase di sviluppo si ispira al cosiddetto metodo Adrienne, lo standard Europeo EN 1793-6, con le dovute differenze e adattamenti. Si utilizza una sorgente sonora e un microfono, posizionati vicino alla barriera bassa (figura 1b), installando dietro alla sorgente anche una superficie riflettente, per simulare la superficie laterale del treno e rappresentare al meglio il caso reale. Utilizzando un sistema di misura totalmente portatile sviluppato ad hoc, visibile in figura 1e, viene misurata con metodo MLS una risposta impulsiva nella configurazione con barriera. Successivamente il microfono e la sorgente sonora vengono spostati, mantenendo le stesse distanze relative e altezze dal suolo, in una posizione priva di ostacoli, per acquisire la risposta in campo libero "bassa" (figura 1c). Inoltre viene acquisita anche una terza risposta impulsiva in campo libero "alta", con la sorgente sonora e il microfono posti tra di loro alla stessa distanza dei casi precedenti ma lontano dal terreno (figura 1d).

Dall'analisi in frequenza dei dati acquisiti si ottiene l'Insertion Loss della barriera e grazie alla terza misura, con opportuni calcoli matematici, è possibile estrapolare le prestazioni della barriera isolata dall'effetto del suolo. In figura 2 è visibile un esempio di Insertion Loss misurato con il metodo in via di sviluppo.

### **Analisi di sostenibilità preliminare delle barriere antirumore basse**

Per dimostrare l'efficacia ambientale delle barriere antirumore basse, il progetto ha utilizzato la metodologia dell'Analisi del Ciclo di Vita (LCA), uno strumento quantitativo e standardizzato che valuta l'impatto ambientale di un prodotto. In fase preliminare è stato utilizzato un approccio cosiddetto "dalla culla al cancello", ovvero dalla produzione delle materie prime fino alla loro lavorazione. In particolare, lo studio si è concentrato sul potenziale di riscaldamento globale (GWP), un indicatore chiave per misurare le emissioni di gas serra, in linea con gli obiettivi europei di "net zero".



Nell'analisi di sostenibilità preliminare, sono state messe a confronto tre diverse tipologie di barriere basse presenti sul mercato: la Strailastic\_mSW 360 (o Strail), la Pregymix Paraballast e la Soundim Rail. Lo studio ha esaminato l'impatto ambientale di ciascuna barriera in base ai materiali che la compongono. La barriera Strail, infatti, è composta da una particolare combinazione di gomma riciclata, pari a circa il 70% del totale, e gomma vergine. La barriera Pregymix Paraballast, invece, contiene una percentuale di gomma riciclata ridotta composta da cemento armato. Una combinazione di acciaio, alluminio e schiuma PET, invece, è la

composizione della barriera Soundium Rail. Quest'ultima, a causa della sua costituzione, risulta essere poco sostenibile, a causa della presenza di alluminio che contribuisce all'impatto di GWP. La barriera Pregymix Paraballast, invece, risulta essere la meno sostenibile delle tre in quanto costituita in prevalenza da cemento armato, nonostante la componente di materiale riciclato al suo interno.

Dall'analisi di sostenibilità preliminare delle barriere basse emerge che la significativa presenza di materiale riciclato rende la barriera Strail più sostenibile, riducendo l'impatto ambientale complessivo rispetto all'uso dei soli materiali vergini.

I risultati preliminari dimostrano chiaramente come la barriera Strail sia la soluzione più efficace nel minimizzare più efficacemente l'impatto ambientale in termini di GWP. Questo risultato è dovuto in gran parte all'elevato contenuto di gomma riciclata nella sua composizione.

Questo studio sottolinea l'importanza di non limitarsi a considerare la presenza di materiali riciclati, ma di valutare l'intera composizione e la quantità relativa di ogni componente per determinare l'impatto ambientale complessivo.

 [Visita la pagina dedicata](#)