

RaySound — stress-test su geometria reale

GenDARA Room_0: modi (eigsolver) e identificabilità dei materiali

Mini-report interno • 25 agosto 2026 • ST-LINE S.r.l.

Sintesi. Su una sala reale arbitraria, l'eigsolver d'onda recupera lo spettro modale (capacità, oltre lo shoebox di validazione) mentre il forward time-domain degrada (sliver-CFL, limite del meshing); e l'identificabilità dei materiali è *positiva* su una sala piccola-con-contrasto (dove CR2 non lo era *per rigidità uniforme*, non per dimensione), governata dalla stessa legge *position-aware* del design. È un risultato metodologico-concettuale modesto, non una predizione forte: i pesi sono dichiarati a ogni passo.

1 Inquadramento: stress-test, non validazione

GenDARA Room_0 (challenge ICASSP-2025, stanza fisica negli uffici Treble) è una sala reale di $V \approx 71 \text{ m}^3$ ($7.0 \times 4.56 \times 2.54 \text{ m}$), con modello 3D (OBJ, 408 facce in 7 gruppi materiali), 20 risposte all'impulso (RIR) misurate ($f_s = 32 \text{ kHz}$) e griglie simulate. **I coefficienti di assorbimento $\alpha(f)$ per superficie sono nascosti** (è una challenge di generazione di RIR): quindi questo *non è una validazione forward* — è uno *stress-test interno* dei limiti del motore su geometria reale. Nessuno dei test usa l' α nascosto: T1 è material-free (i modi li fissa la geometria), T2 sonda la struttura di sensibilità attorno a α -nominali plausibili. Un terzo test (auto-consistenza inversa) è saltato (§4).

2 T1 — modi modali via eigsolver

Metodo: i modi sono autovalori, non un'integrazione temporale. Le frequenze modali di una sala rigida sono gli autovalori del problema $K\phi = \lambda M\phi$ (Laplaciano SIPG-Neumann, `dgacoustics.eigen3d`), con $f = c\sqrt{\lambda}/2\pi$. È un *eigenproblem* a una botta (sparse `eigsh` shift-inverted, secondi), *immune al CFL*: uno *sliver* peggiora il condizionamento di K , ma non forza alcun passo temporale. Il forward time-domain (pensato per la RIR completa) non è adatto ai soli modi, e su mesh reale degrada (oltre).

Risultato material-free. Su pareti rigide (Neumann), l'eigsolver sulla mesh reale:

Verifica	Esito	Interpretazione
mesh-convergenza ($r_{\min} 1.6 K=133$ vs $1.0 K=461$)	37/41 modi $< 2 \text{ Hz}$ (0.78%)	spettro mesh-indipendente
spettro vs box-analitico (bbox)	48/49 modi $< 3 \text{ Hz}$ (0.68%)	l'eigsolver gira su geometria reale

L'eigsolver d'onda, *prima validato solo su shoebox*, recupera lo spettro modale su una mesh reale arbitraria, in modo *mesh-convergente*. Questa è la capacità dimostrata.

Match coi misurati: consistente, ma debole (etichettato). Gli 8 picchi modali estratti dalle RIR misurate ($< 150 \text{ Hz}$) cadono tutti entro 4 Hz di un modo predetto (8/8, bias -0.2 Hz). Ma la sala è grande: lo spettro è *denso* (46 modi $< 150 \text{ Hz}$, spaziatura $\sim 3.3 \text{ Hz}$), così un picco entro 4 Hz di *qualche* modo è quasi garantito. È un controllo *necessario ma non sufficiente* (non probante). La sala è acusticamente *box-like*, quindi la validazione vera è *eigen-vs-box* + convergenza (sopra); il match coi misurati è coerente ma non probante.

Limite: il time-domain su mesh reale è sliver-CFL-bound. Lo stesso modo via integrazione temporale fallisce per ragioni di *meshing*, non di fisica. La pipeline di tetraedralizzazione (`build_sized_mesh+improve_mesh`, basata su Delaunay non-vincolato) produce tet degeneri erratici (raggio inscritto minimo erratico al variare di $r_{\min}$): il passo CFL $\propto$ raggio-inscritto esplode

(milioni di passi per 0.5 s contro $\sim$ decine di migliaia con un tet pulito), e i modi time-domain su mesh grossolana sono non convergenti e dipendenti dall'eccitazione. Le scatole BRAS non lo vedevano (mesh strutturata, senza sliver). È un limite noto della classe esplicita-DG (sliver $\rightarrow$ CFL), non un quesito aperto: *per i modi su geometria reale, l'eigensolver è la via; il time-domain no.*

3 T2 — identificabilità dei materiali

La domanda: in una sala piccola e modale *con* contrasto di materiali (a differenza di CR2, piccola e modale ma a *rigidità uniforme*), i materiali sono identificabili? Si costruisce il Jacobiano descrittore-parametri sui 7 gruppi attorno ad α -nominali plausibili (assorbitore ~ 0.7 , muri/concrete ~ 0.02 – 0.05 , legno ~ 0.1); la SVD dà rango e condizionamento. Il *rango* è strutturale (robusto al punto), i *valori* dipendono dal punto.

Verdetto (robusto): identificabilità positiva, e la causa di CR2 non era la dimensione.

Osservabile	rango	cond	
Eyring- T_{60} integrato	1/7	—	vede solo $\bar{\alpha}$ (media pesata-area): <i>non separa i materiali</i>
C_{50} position-aware (per-pos.)	6/7	$\sim 3.6 \times 10^3$	gli osservabili position-aware separano
CR2 (riferimento)	3/5	—	rigidità uniforme, nessun contrasto

GenDARA dà rango 6/7 (cond $\sim 3.6 \times 10^3$) contro il 3/5 di CR2: **identificabilità positiva su sala piccola-con-contrasto**. La non-identificabilità di CR2 veniva dalla *rigidità uniforme* (un solo materiale near-rigido, riflessione piatta, nessun contrasto), **non** dalla piccolezza. Le due cause sono separate. Inoltre il *salto di rango* $1 \rightarrow 6$ dice che sono gli osservabili *position-aware* (C_{50} per posizione) a separare i materiali: il T_{60} integrato, per costruzione, no.

Per-group: area-pesata-per-colpo, non assorbente-vs-rigido. Le magnitudini per-gruppo $|\partial C_{50}/\partial \alpha|$ dal Jacobiano FD sul forward GA sono *run-dependent* (Monte-Carlo, rumorose a 1–2 kHz): qui si riporta solo il verdetto robusto. Le superfici a grande area (soffitto, pareti, pavimento) sono identificabili; le piccole (porta, legno, $\sim 1\%$ d'area) sono cieche. L'ipotesi ingenua “l'assorbitore è identificabile, il rigido no” è refutata: l'identificabilità segue l'area pesata per la frequenza-di-colpo, non la natura assorbente o rigida (una parete rigida grande è più identificabile di un assorbitore piccolo). Il rango (6/7) è il verdetto stabile; le magnitudini per-gruppo sono indicative.

Design e identificabilità: stessa legge. È la *stessa legge* del design position-aware: conta *dove il campo colpisce* (la frequenza-di-colpo), non l'area nuda né la natura del materiale. Design e identificabilità obbediscono allo stesso principio — ciò che si può *progettare* e ciò che si può *identificare* sono governati dallo stesso operatore position-aware.

4 T3 — saltato (motivato)

Il bridge di inversione full-waveform è *shoebox* a una sola superficie; GenDARA è una sala reale (408 facce, 7 gruppi), su cui il bridge non può girare. L'auto-consistenza inversa sarebbe quindi non-eseguibile (limite-bridge già documentato) o ridotta a shoebox (già coperta da CR2/dEchorate): nessun finding nuovo. Saltato.

5 Conclusione

Lo stress-test su geometria reale dà un quadro coerente dei limiti e delle capacità del motore, con i pesi dichiarati: *(i)* l'eigensolver d'onda è una capacità su mesh reale arbitraria (spettro modale convergente, validato vs analitico al $< 1\%$, material-free); *(ii)* il forward time-domain su mesh reale è *sliver-bound* — per i modi si usa l'eigensolver; *(iii)* l'identificabilità dei materiali è *positiva dove c'è contrasto* (la piccolezza non è la causa di non-identificabilità) ed è *area-driven position-aware*, la stessa legge del design. È un risultato metodologico-concettuale, non una validazione: gli α GenDARA sono nascosti, il match coi modi misurati è consistente ma non probante (spettro denso), e le magnitudini per-gruppo sono indicative. Su un caso reale, il quadro indica dove ciascuno strumento è valido.