

Le ARCHISTORIE della biblioteca

THE SOUND OF SILENCE

SENTO, CAPISCO, APPRENDO A SCUOLA



Lo stato dell'arte sugli standard di qualità acustica delle scuole

Simone Secchi, Fabio Brocchi, Gianfranco Cellai



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

Con il contributo di



FONDAZIONE
CR FIRENZE

Con il patrocinio di



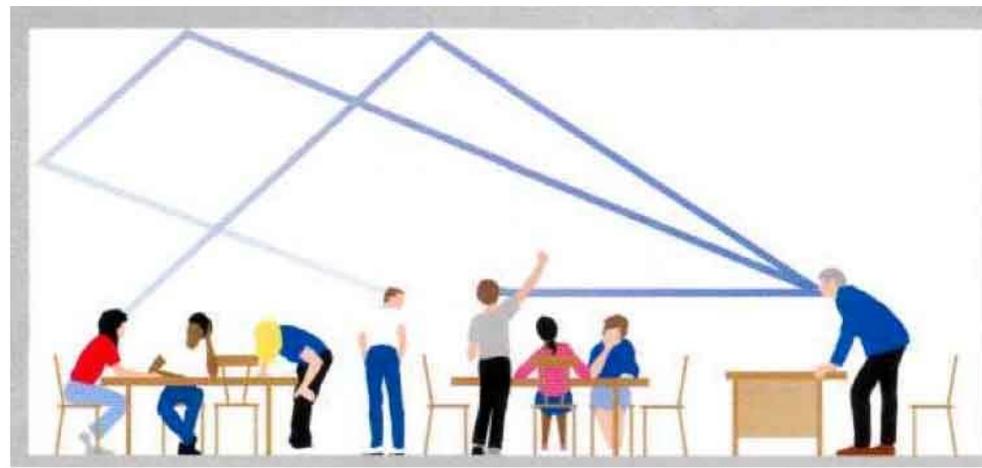
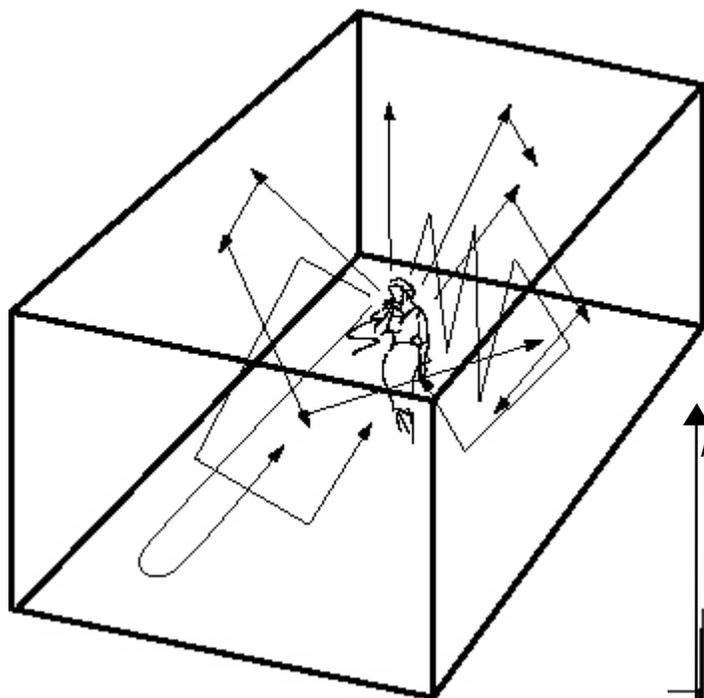
COMUNE DI
FIRENZE

Con la partecipazione di



L'effetto delle riflessioni sonore in ambienti chiusi

La presenza delle riflessioni acustiche allunga la coda sonora e quindi la riverberazione dell'aula



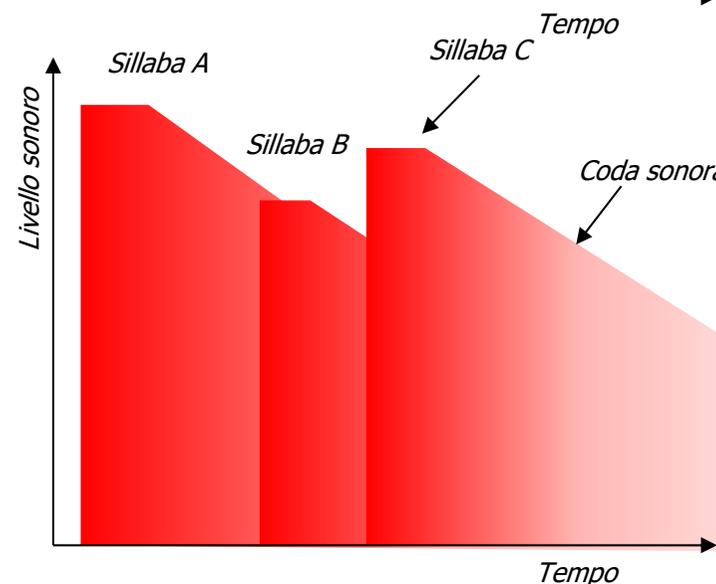
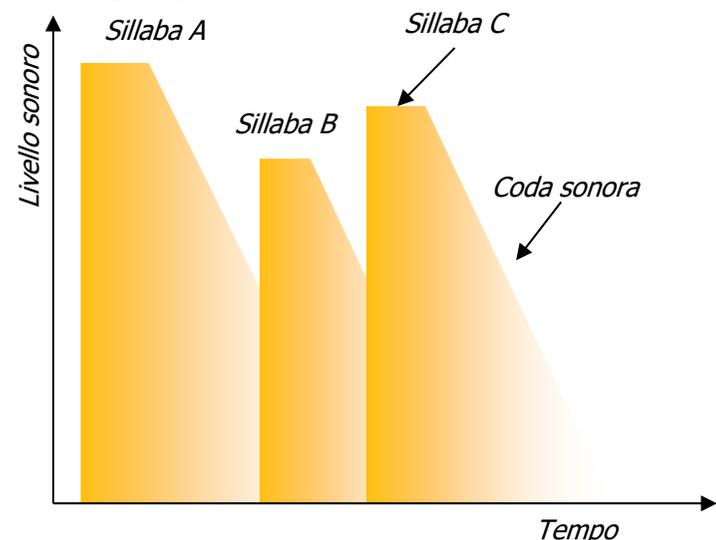
L'effetto della riverberazione sonora

La riverberazione sonora può ridurre la comprensione del parlato e la percezione della musica e dei suoni

Le vocali hanno più energia delle consonanti e si presentano come eventi impulsivi separati nel tempo

La coda riverberante di una sillaba «investe» le sillabe che seguono

Pertanto parte della parola viene «mascherata» e risulta non più comprensibile



Brano in aula
anecoica



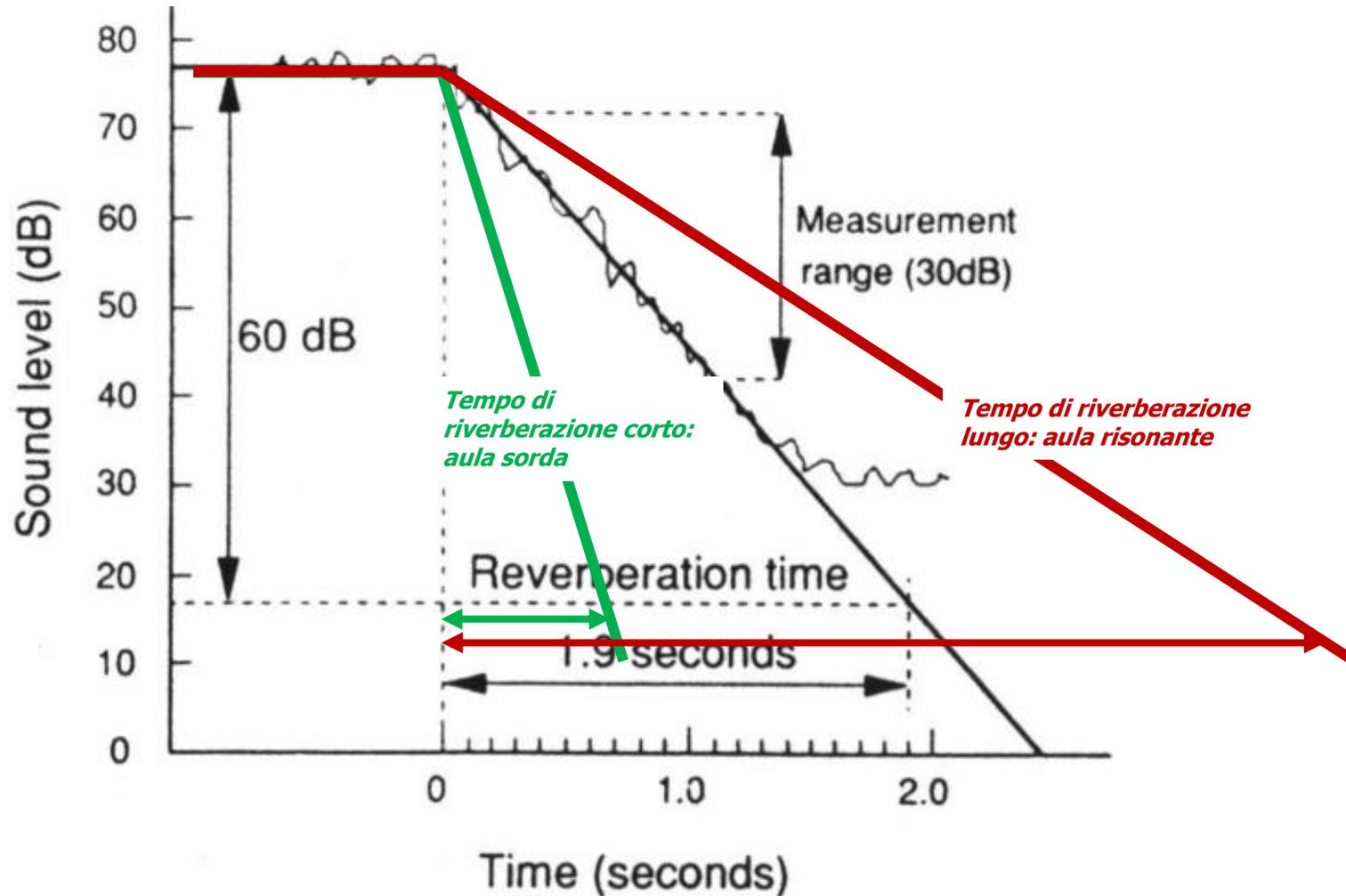
Brano in aula
corretta



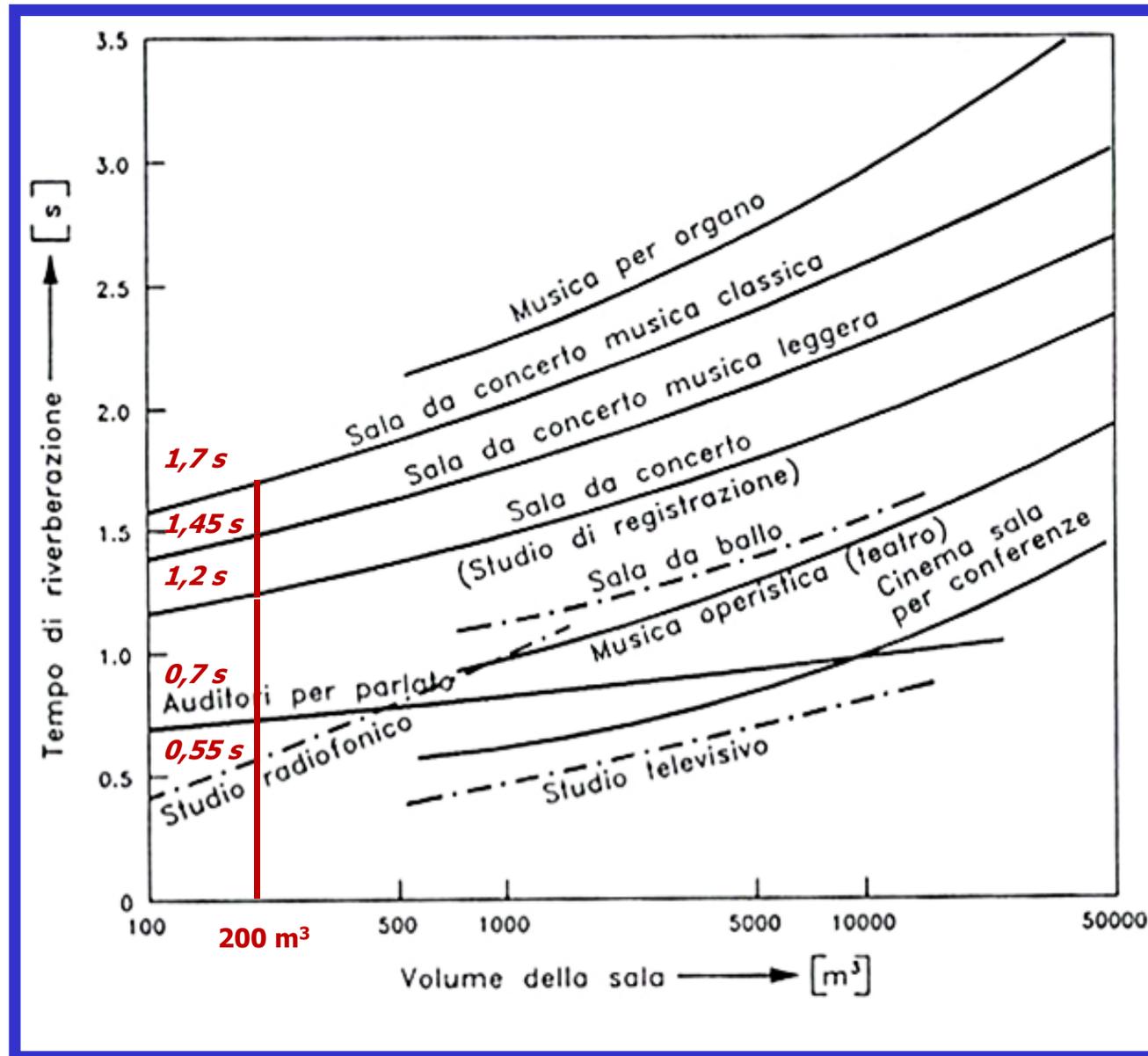
Brano in aula
riverberante

Il tempo di riverberazione (T60 o TR)

La riverberazione viene studiata mediante il **tempo di riverberazione** che, introdotto da Sabine agli inizi del '900, è ancora il principale parametro usato per la caratterizzazione acustica delle aule



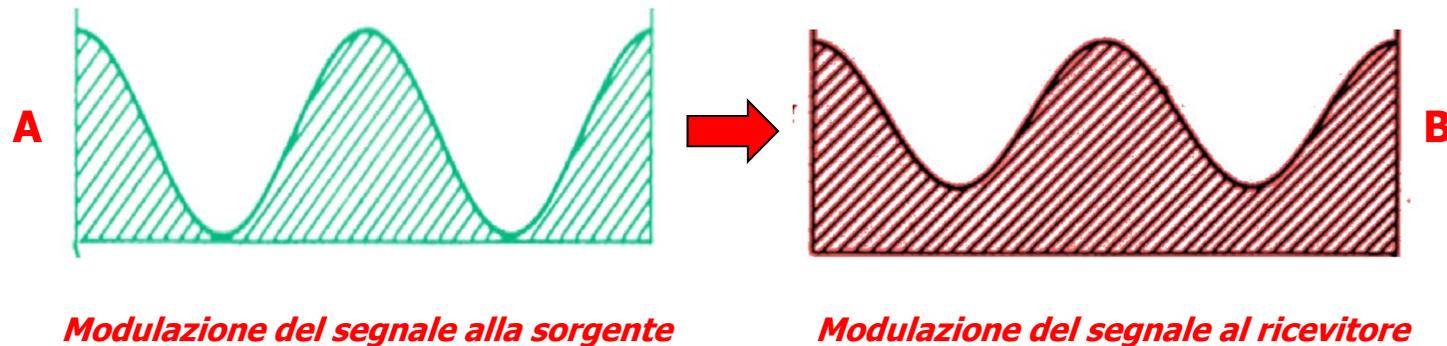
Valori raccomandati del tempo di riverberazione



Lo Speech Transmission Index (STI)

L'**indice di trasmissione del parlato** STI, introdotto nel 1971, serve a **definire in maniera oggettiva l'intelligibilità del parlato** in ambienti interni

È calcolato a partire dalla funzione di trasferimento della modulazione, definita dal **rapporto tra l'ampiezza della modulazione pervenuta al ricevitore (B) e la corrispondente modulazione generata dalla sorgente (A)**

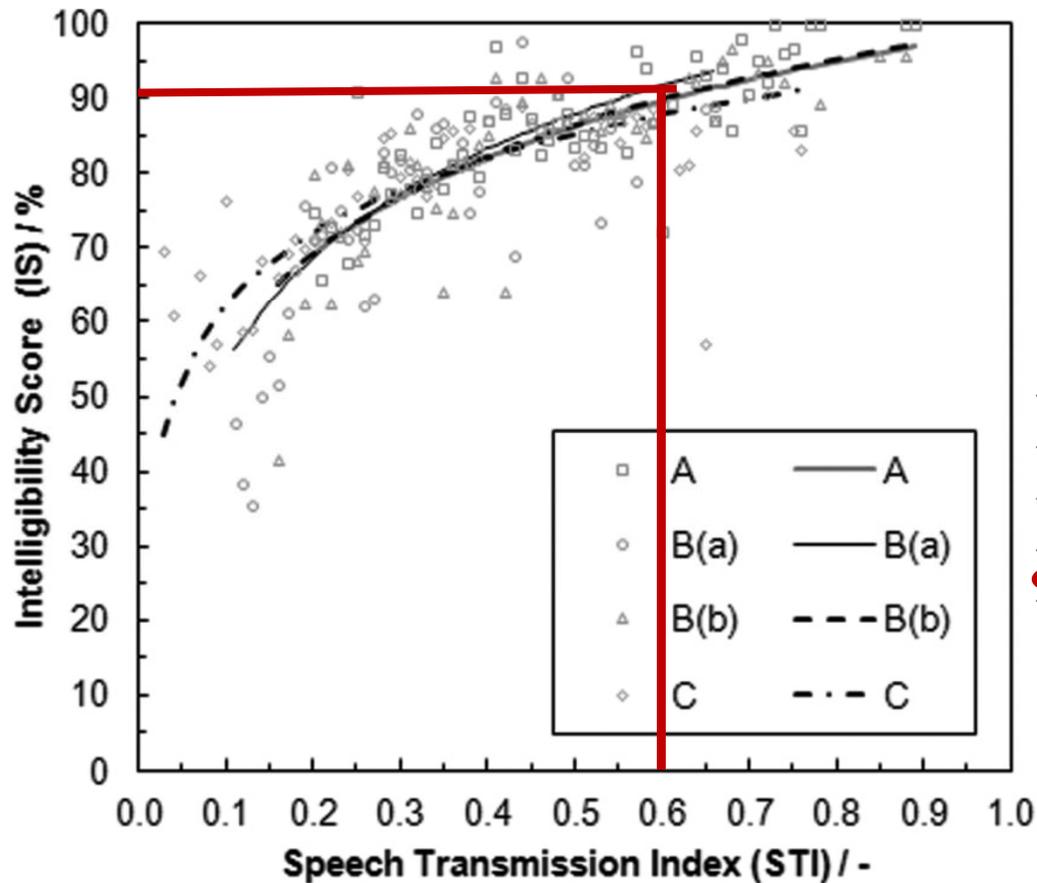


La valutazione fa riferimento ad una specifica posizione dell'ambiente (B); il "parlato" viene prodotto attraverso un segnale normalizzato in un'altra posizione dello stesso ambiente (A).

È correlato sia al **tempo di riverberazione** che al **rapporto segnale / rumore** presente nell'ambiente, quindi anche al rumore di fondo presente.

La relazione tra STI e intelligibilità

90% punteggio di intelligibilità



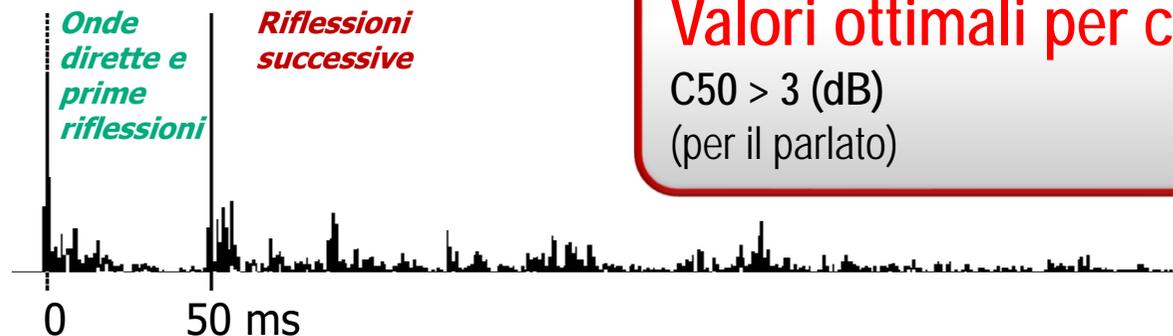
Valori di <i>STI</i>	Qualità del parlato in accordo con la CEI EN 60268-16
$0 < STI \leq 0,3$	Pessimo
$0,3 < STI \leq 0,45$	Scarso
$0,45 < STI \leq 0,6$	Accettabile
$0,6 < STI \leq 0,75$	Buono
$0,75 < STI \leq 1$	Eccellente

La Chiarezza del suono

La Chiarezza è un descrittore che indica **la mancanza di offuscamento dei suoni susseguenti**

Per una buona chiarezza è necessario avere:

- Sufficiente intensità del suono diretto
- Giusto equilibrio tra l'intensità del suono diretto e quella del suono riverberato



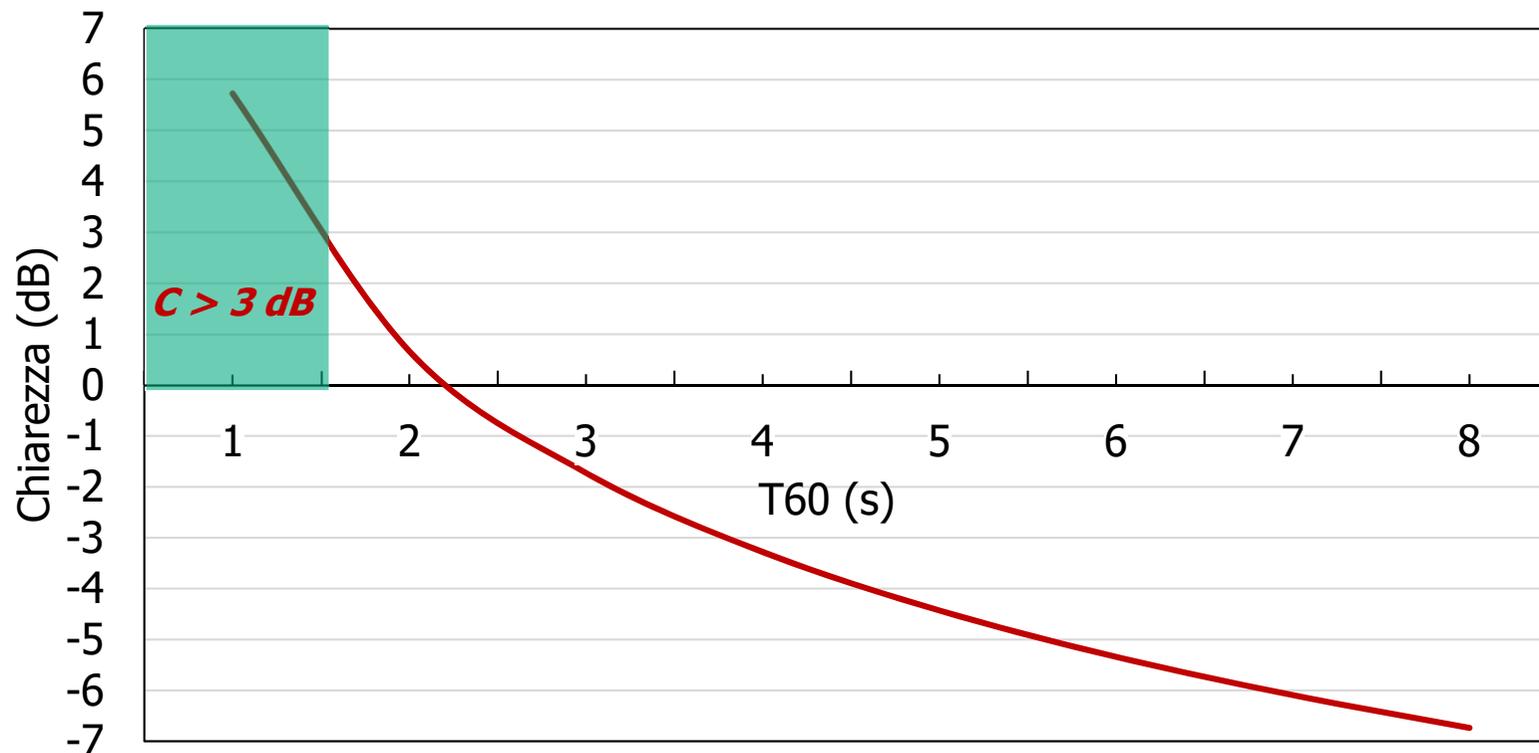
Valori ottimali per chiarezza

$C_{50} > 3$ (dB)
(per il parlato)

$$C_{50} = 10 \lg \frac{\int_{0\text{ms}}^{50\text{ms}} p^2(t) dt}{\int_{50\text{ms}}^{\infty} p^2(t) dt} = \frac{\text{onde dirette e prime riflessioni}}{\text{riflessioni ritardate}}$$

La relazione tra chiarezza e tempo di riverberazione

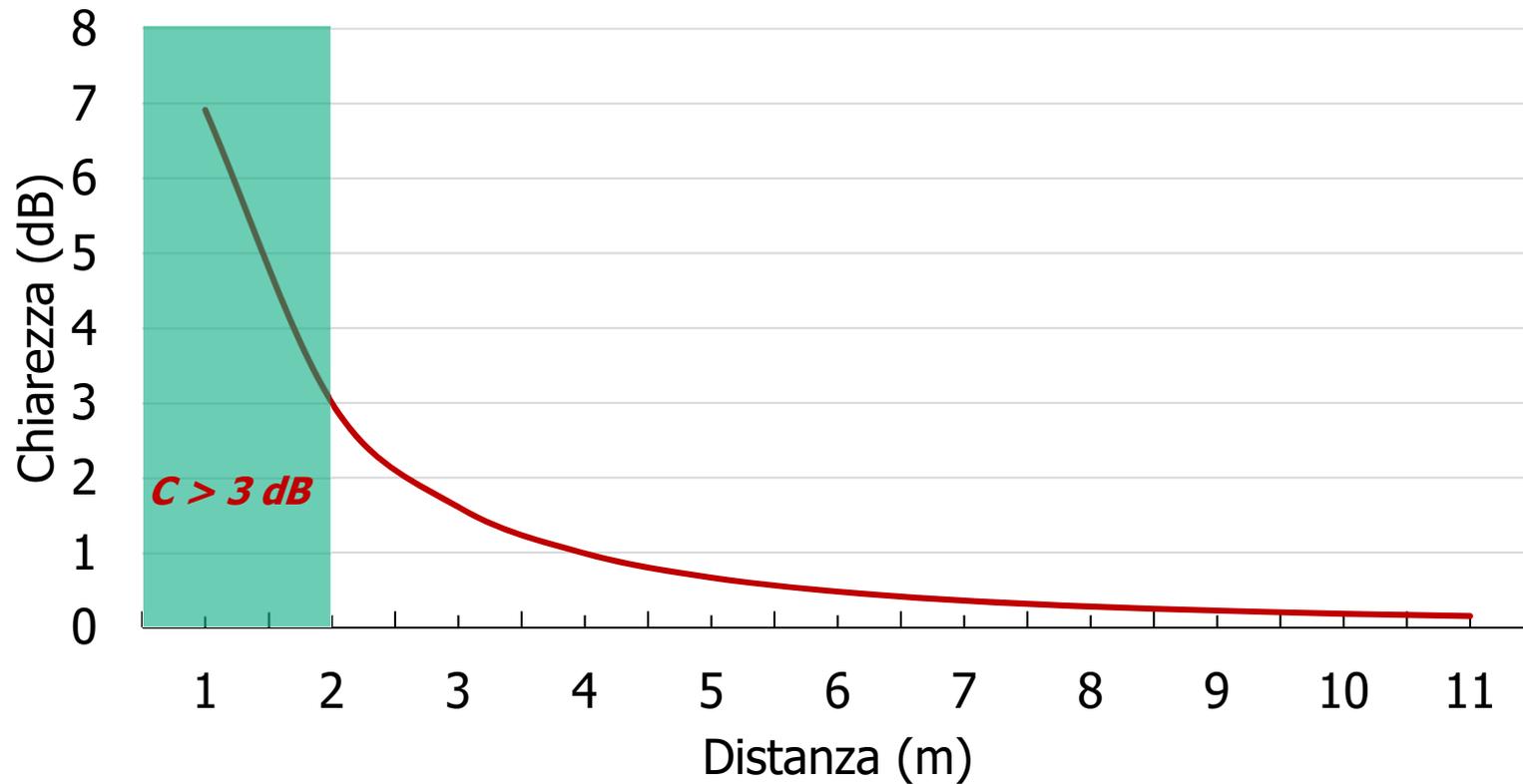
$V = 150 \text{ m}^3$; $r = 2,5 \text{ m}$ (centro stanza)



Per valori del tempo di riverberazione inferiori ad 1 secondo la Chiarezza è generalmente buona

La relazione tra chiarezza e distanza sorgente - ricevitore

$T60 = 1 \text{ s}; V = 150 \text{ m}^3$



Per distanze dall'oratore inferiori ad 2 metri la Chiarezza è generalmente buona

Il DM 11 gennaio 2017

Criteria Ambientali Minimi per interventi di nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici

Il decreto, che **si applica a tutti gli interventi sulle scuole pubbliche**, specifica i descrittori acustici da utilizzare per le verifiche.

Questi sono definiti da due differenti norme UNI ed in particolare:

- dalla norma **UNI 11367** del 2010, per i requisiti acustici passivi delle unità immobiliari;
- dalla **UNI 11532** del 2018 (la parte 2 contenente i valori limite deve essere ancora pubblicata) che indica:
 - Il **Tempo di Riverberazione**
 - lo **Speech Transmission Index**
 - la **Chiarezza** (per le aule con volume inferiore a 250 m³)

I valori limite secondo la UNI 11367

Valori ottimali del tempo di riverberazione medio tra 500 e 1 000 Hz, in ambienti adibiti a:

parlato

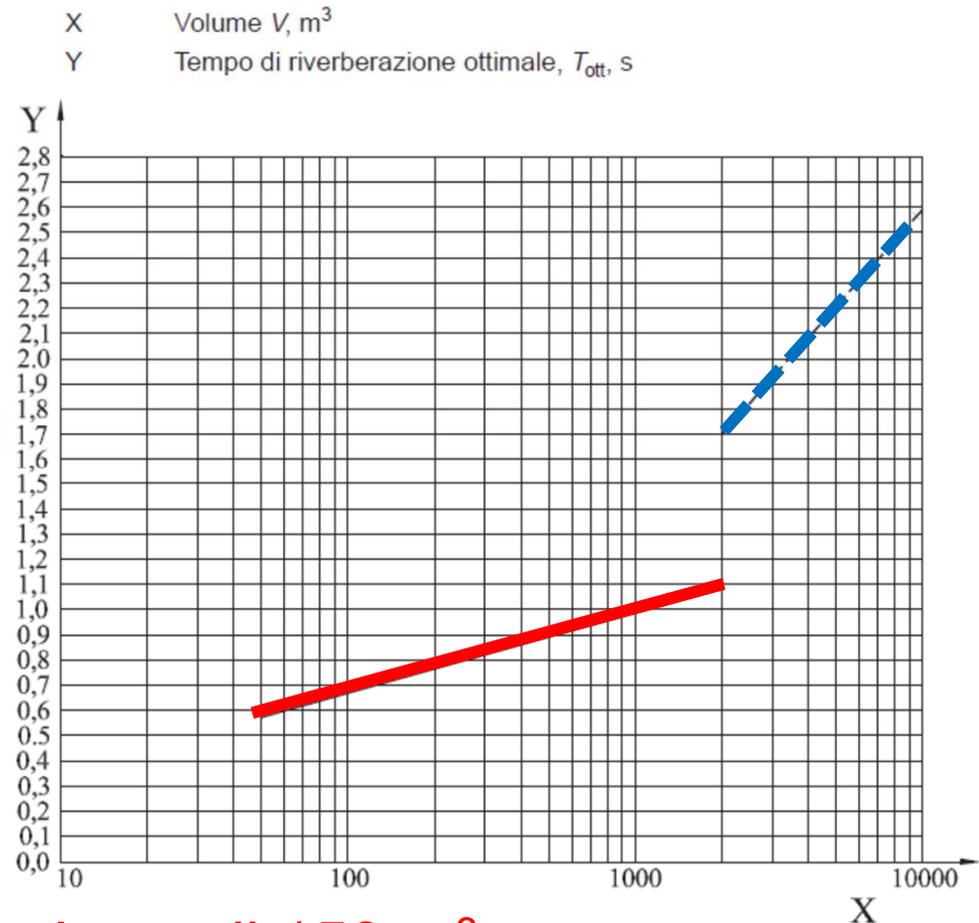
$$T_{\text{ott}} = 0,32 \lg(V) + 0,03 \text{ [s]}$$

attività sportiva

$$T_{\text{ott}} = 1,27 \lg(V) - 2,49 \text{ [s]}$$

(verifica su ambienti non occupati)

$$T \leq 1,2 T_{\text{ott}}$$



Esempio per volume di 150 m³

$$T_{\text{ott}} = 0,7 \text{ s}$$

$$T_{\text{lim}} = 1,2 \times 0,7 = 0,9 \text{ s}$$

I valori limite secondo la UNI 11532

L'attuale bozza di norma tecnica suddivide le aule in differenti categorie, a seconda dell'utilizzo:

Categoria		Descrizione
A1		Musica, prevalentemente rappresentazioni musicali
A2		Parlato/Conferenze, presentazioni parlate dove si ha un oratore frontale
A3	A3.1	Ambienti della categoria A2 per persone che hanno deficit uditivi o parlano una lingua diversa ovvero aule speciali
	A3.2	Parlato, comunicazione con la presenza contemporanea di più persone parlanti nell'aula
A4		Più persone parlanti nella stanza (come categoria A3.2.) e destinate a persone con particolari necessità (aule speciali) . Escluse aula speciale di volume superiore a 500 m ³ , oppure per utilizzo musicale
A5		Sport: piscine e palestre e similari

I valori limite secondo la UNI 11532

Valori Limite per STI

	< 250m ³	≥ 250m ³
Senza impianto di amplificazione	≥ 0.60	≥ 0.55
Con impianto di amplificazione	≥ 0.60	

Il presente descrittore si applica alle categorie A1, A2, A3 ed A4. Per ambienti di dimensioni inferiori ai 250m³ in alternativa allo STI può essere utilizzato il descrittore C50

Valori Limite per C50

	< 250m ³
Senza impianto di amplificazione	≥ 3dB

Il presente descrittore può essere applicato alle categorie A1, A2, A3 ed A4 in alternativa allo STI esclusivamente per ambienti inferiori ai 250m³. Per ambienti ≥250m³ si applica lo STI

Valori Limite per TR

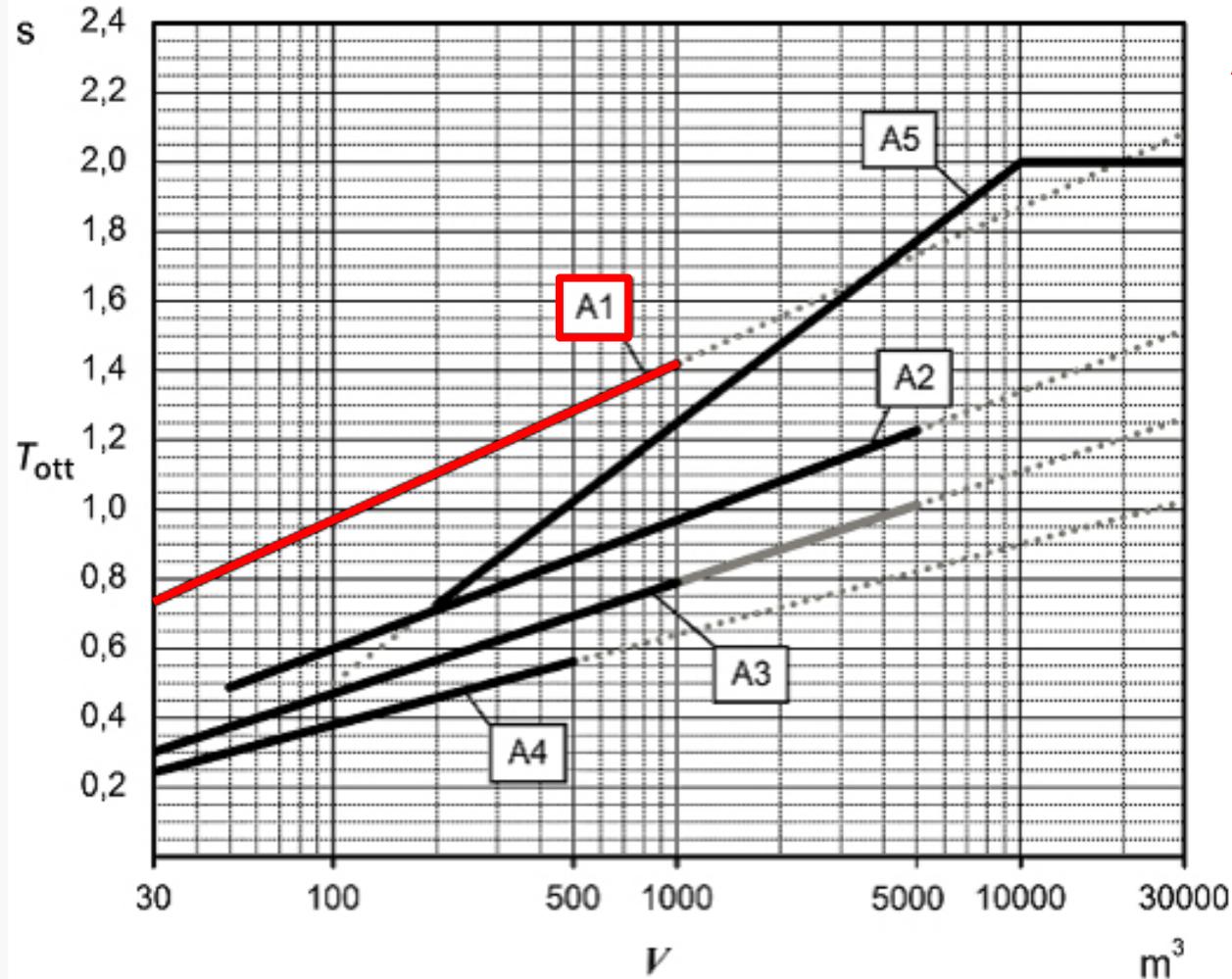
Categoria	Ambiente occupato all'80%	
A1	$T_{ott.A1} = \left(0,45 \lg \frac{V}{m^3} + 0,07\right) s$	$30 m^3 \leq V < 1000 m^3$
A2	$T_{ott.A2} = \left(0,37 \lg \frac{V}{m^3} - 0,14\right) s$	$50 m^3 \leq V < 5000 m^3$
A3	$T_{ott.A3} = \left(0,32 \lg \frac{V}{m^3} - 0,17\right) s$	$30 m^3 \leq V < 5000 m^3$
A4	$T_{ott.A4} = \left(0,26 \lg \frac{V}{m^3} - 0,14\right) s$	$30 m^3 \leq V < 500 m^3$
A5	$T_{ott.A5} = \left(0,75 \lg \frac{V}{m^3} - 1,00\right) s$	$200 m^3 \leq V < 10\,000 m^3$
	$T_{ott.A5} = 2,0 s$	$V \geq 10\,000 m^3$

I valori limite secondo la UNI 11532

Valori Limite per TR – CAT.A1

$$T_{ott,A1} = \left(0,45 \lg \frac{V}{m^3} + 0,07\right) s$$

$$30 m^3 \leq V < 1000 m^3$$



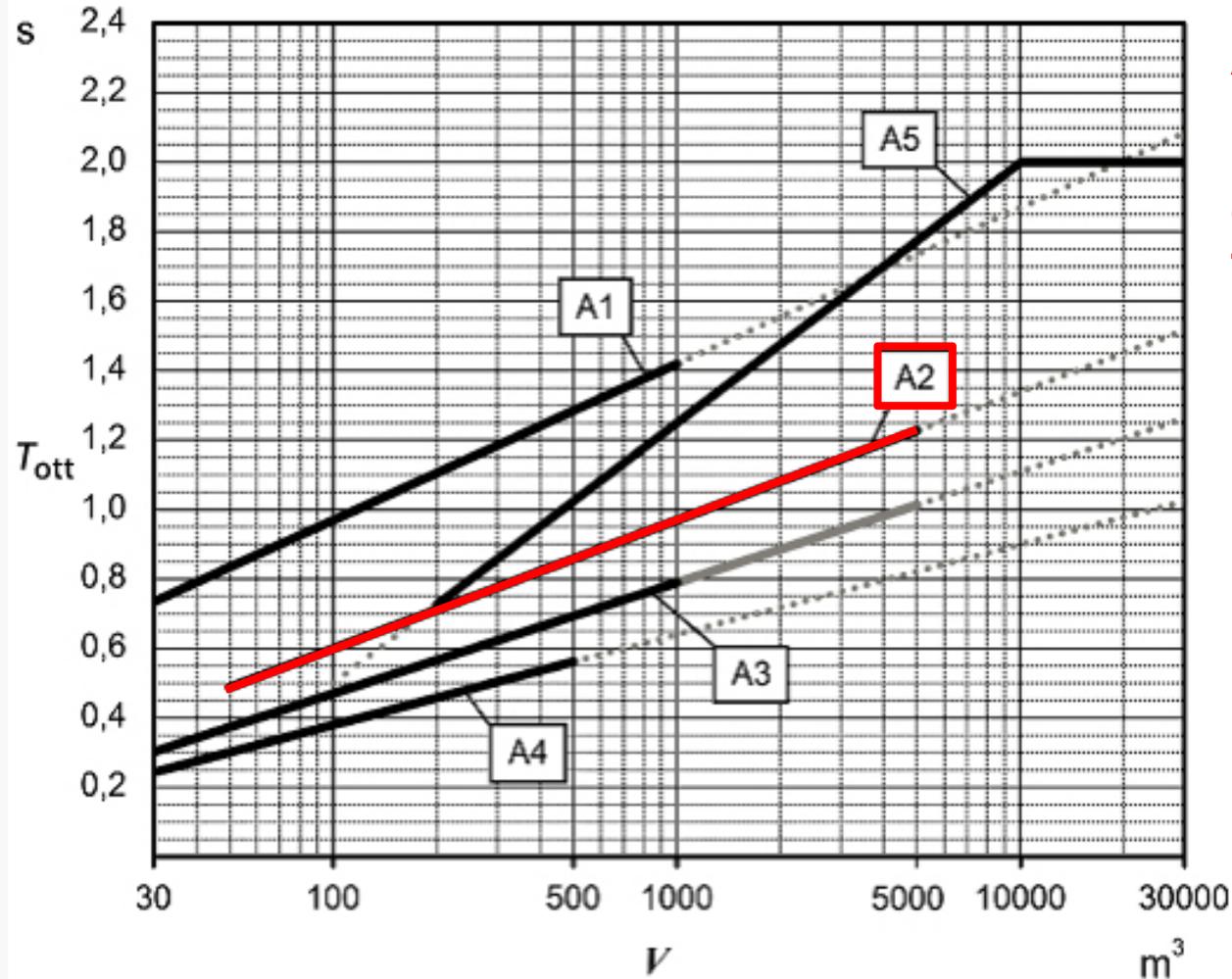
**Ambienti adibiti a musica,
prevalentemente
rappresentazioni musicali**

I valori limite secondo la UNI 11532

Valori Limite per TR – CAT.A2

$$T_{ott,A2} = \left(0,37 \lg \frac{V}{m^3} - 0,14 \right) s$$

$50 m^3 \leq V < 5000 m^3$



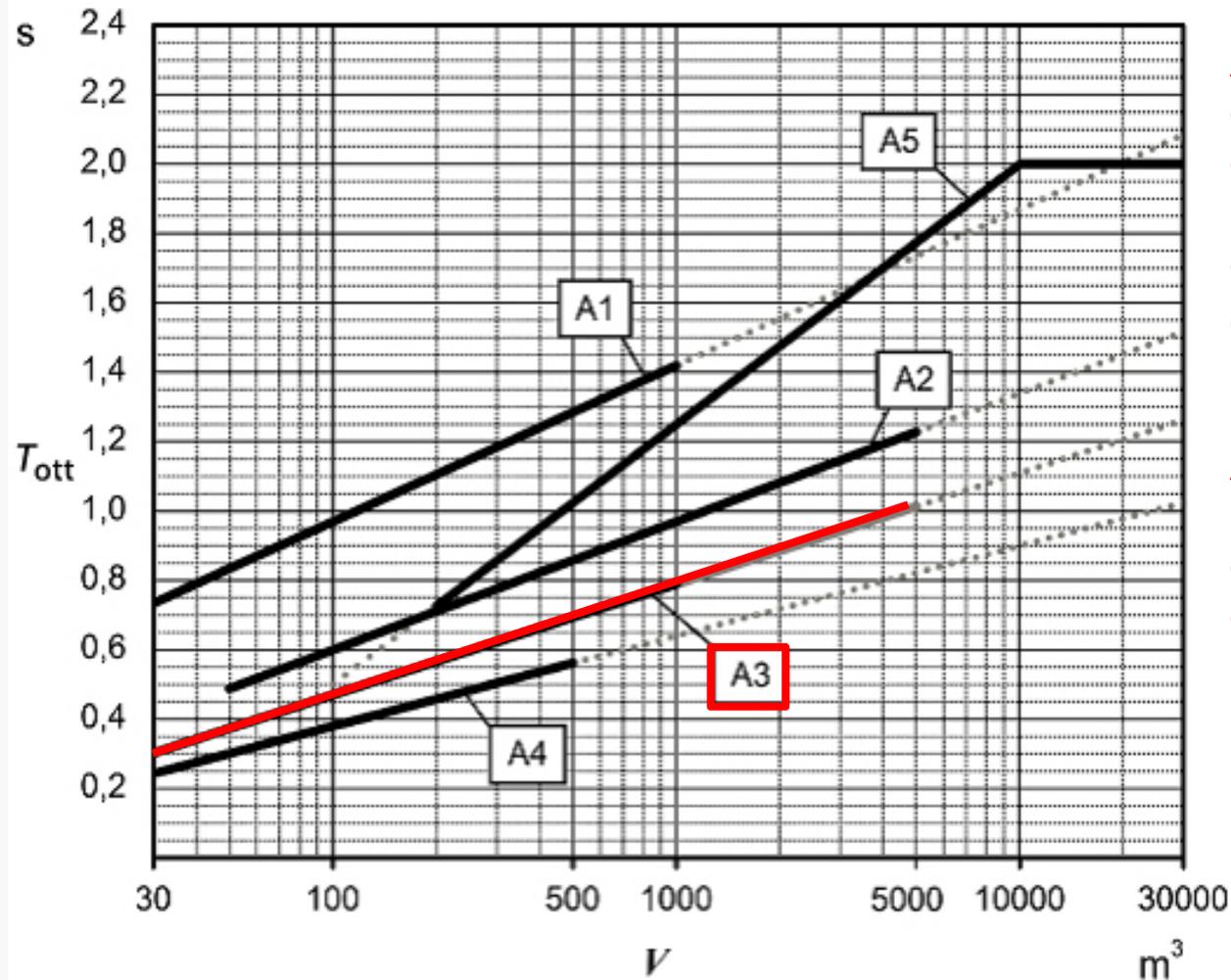
Ambienti adibiti a parlato/conferenze, presentazioni parlate dove si ha un oratore frontale

I valori limite secondo la UNI 11532

Valori Limite per TR – CAT.A3

$$T_{ott,A3} = \left(0,32 \lg \frac{V}{m^3} - 0,17 \right) s$$

$$30 m^3 \leq V < 5000 m^3$$



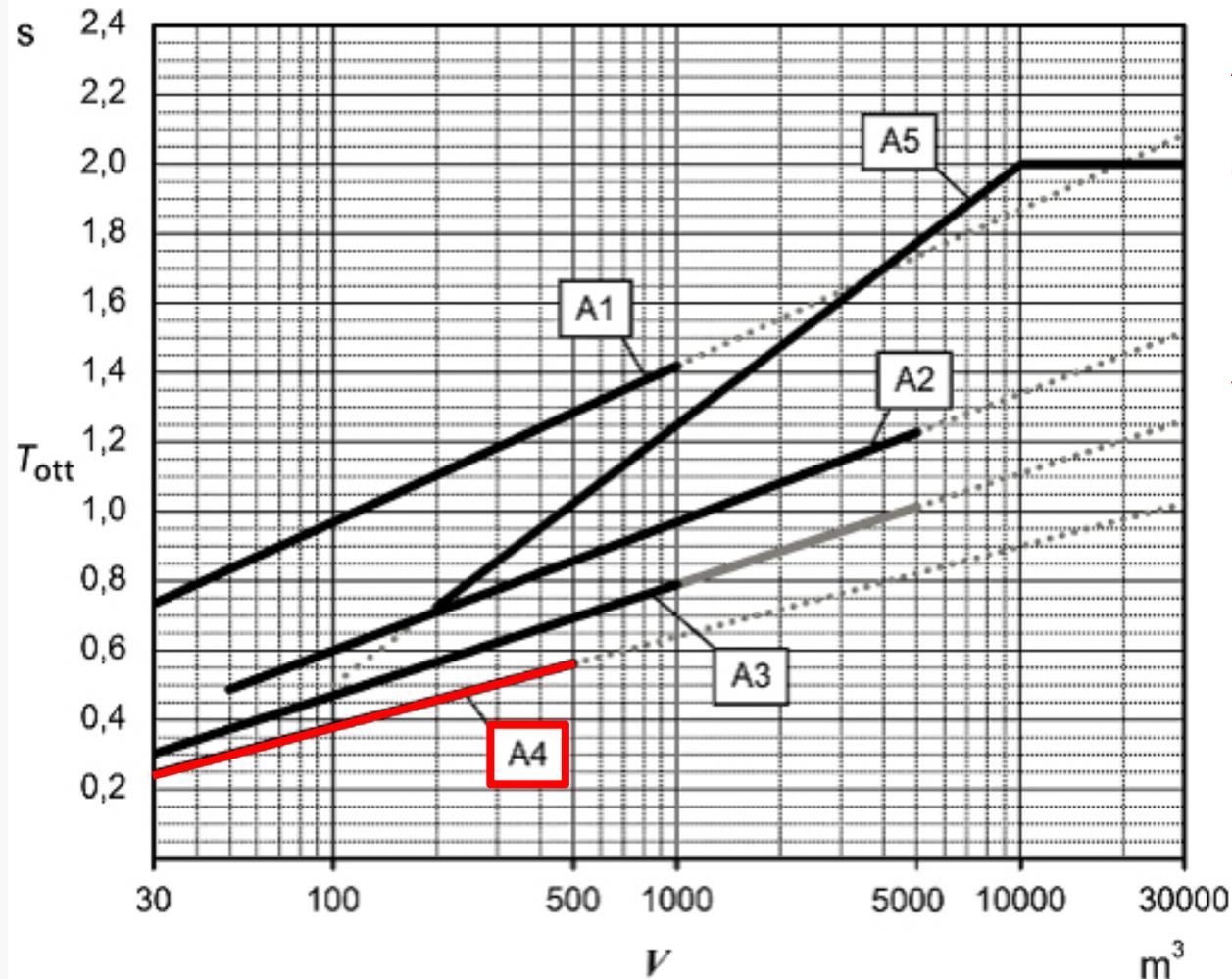
A3.1: Ambienti della categoria A2 per persone che hanno deficit uditivi o parlano una lingua diversa ovvero aule speciali

A3.2: Ambienti adibiti al parlato, comunicazione con la presenza contemporanea di più persone parlanti nell'aula

I valori limite secondo la UNI 11532

Valori Limite per TR – CAT.A4

$$T_{\text{ott,A4}} = \left(0,26 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,14 \right) \text{ s} \quad 30 \text{ m}^3 \leq V < 500 \text{ m}^3$$



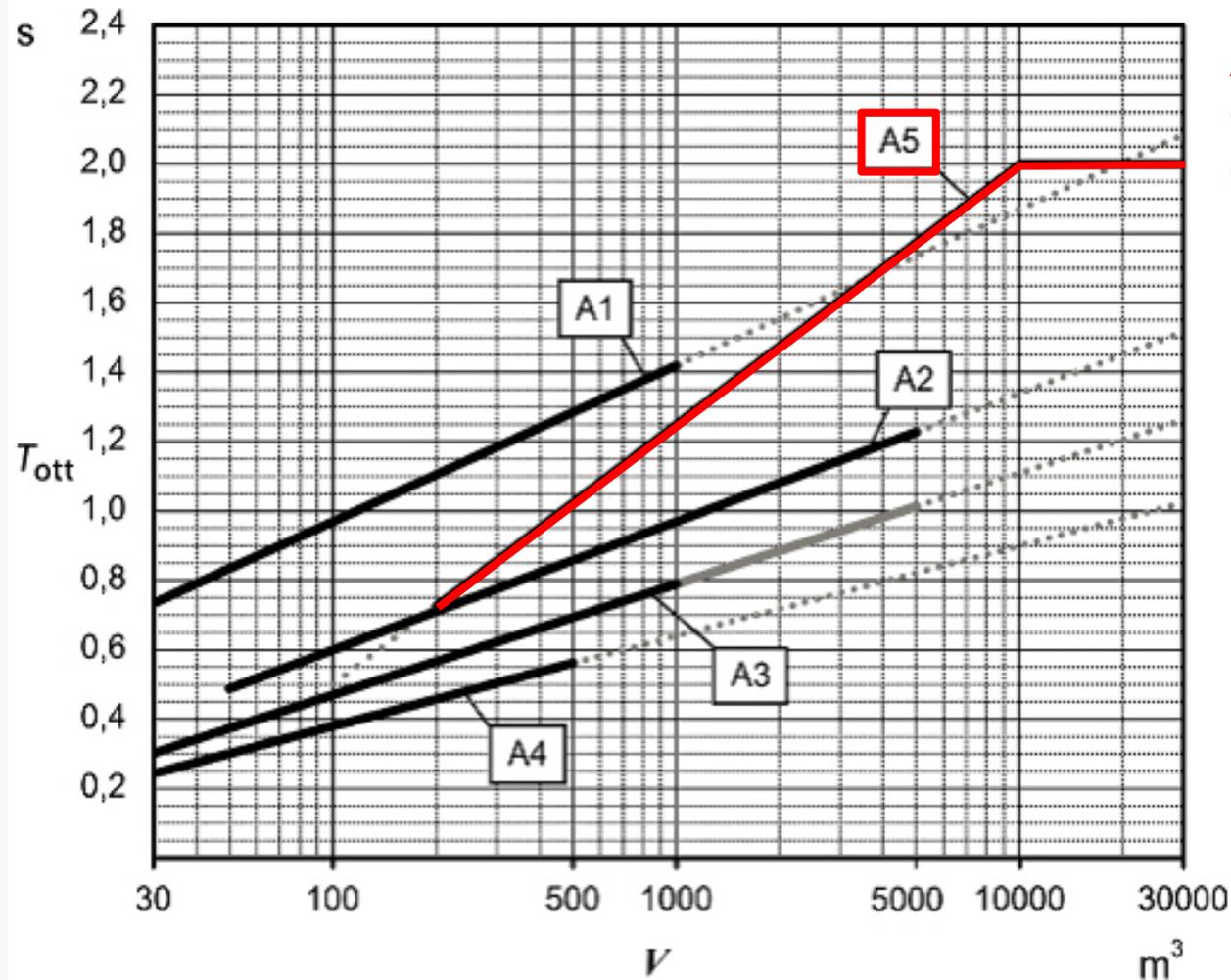
Ambienti adibiti a più persone parlanti nella stanza e destinate a persone con particolari necessità (aule speciali).

Escluse le aule speciali di volume superiore a 500 m³, oppure per utilizzo musicale

I valori limite secondo la UNI 11532

Valori Limite per TR – CAT.A5

$$T_{ott,A5} = \left(0,75 \lg \frac{V}{m^3} - 1,00\right) s \quad 200 m^3 \leq V < 10\,000 m^3$$
$$T_{ott,A5} = 2,0 s \quad V \geq 10\,000 m^3$$



**Ambienti adibiti a sport
come piscine e palestre e
similari**

Gli effetti della cattiva qualità acustica nelle aule

- ✓ *Effetti sull'acquisizione della lingua e sulla letto-scrittura*
- ✓ *Ritardi rispetto alle competenze attese ed effetti cumulativi per i bambini più grandi*
- ✓ *Riduzione dell'attenzione dal compito assegnato; effetti sui compiti più strutturati (es. logico-matematici) e non abitudinari*
- ✓ *A distanze superiori a 6 metri si arriva, in condizioni avverse, a perdere anche il 50% della lezione*
- ✓ *L'esposizione a condizioni avverse causa un crollo della motivazione dovuto alla frustrazione subita nel seguire la lezione.*

L'effetto della riverberazione su soggetti con vari tipi di disagio

Si tratta di aule che ospitano:

- allievi con problemi di udito
- allievi con i quali l'apprendimento e la comunicazione avviene in una lingua diversa dalla madrelingua
- allievi che necessitano di una maggiore intelligibilità del parlato
- allievi con difficoltà di concentrazione
- allievi con sindrome da deficit di attenzione o iperattività.

In queste aule i **requisiti acustici devono essere controllati con maggiore rigore**.

Oltre ai requisiti specifici per il **tempo di riverberazione** e per il **rumore di fondo**, la **differenza tra il livello del segnale e del rumore**, nelle diverse postazioni di ascolto in tutta l'aula, deve essere almeno 15 - 20 dB.

Gli effetti del rumore sugli insegnanti

*Gli insegnanti sono la **categoria professionale maggiormente esposta** ai danni provocati dall'uso prolungato e sostenuto della propria voce in ambienti non idonei*

Il tempo di fonazione percentuale è superiore ad altre categorie professionali

Come conseguenza si ha:

- ***Incremento di circa 0,7 dB del livello di voce** per ogni incremento di 1 dB nel livello di rumore (a causa dell'effetto Lombard)*
- ***Disturbi causati dal rumore e dal riverbero** (mal di testa, perdita di concentrazione, malessere generale, disturbi vocali, ecc.)*

Gli effetti del rumore sugli insegnanti di educazione fisica

- I tempi di riverberazione possono raggiungere 8 s, con valori medi interno a 3-4 s;
- I livelli sonori della voce degli insegnanti possono superare 80 dB(A);
- Il livello di esposizione settimanale al rumore supera 75 dB(A) per l'80% degli insegnanti e gli 80 dB(A) per il 25%.

Indagine effettuata su 15 palestre, 3 piscine e 75 docenti di educazione fisica e istruttori di nuoto.

Fonte: (Maffei et al., 2009)



La ricerca svolta da Unifi

La relazione tra la acustica qualità degli ambienti degli ambienti scolastici e la comprensione del parlato

Dipartimenti universitari dell'Università di Firenze partecipanti alla ricerca:

- **Dipartimento di Architettura** (capofila)
(Simone Secchi, Antonio Lauria, Fabio Brocchi, Luigi Vessella)
- **Dipartimento di Ingegneria Industriale**
(Gianfranco Cellai)
- **Dipartimento di Formazione, Lingue, Intercultura, Letterature e Psicologia**
(Lucia Bigozzi, Giulia Vettori)

e con la partecipazione di

- **Dipartimento di Energia** (Politecnico di Torino)
(Arianna Astolfi, Louena Shrepi)

Ricerca svolta grazie al contributo di:



e la partecipazione di:



La ricerca svolta da Unifi

Le scuole esaminate

Scuole esaminate nel Comune di Firenze (Direzione Servizi Tecnici)

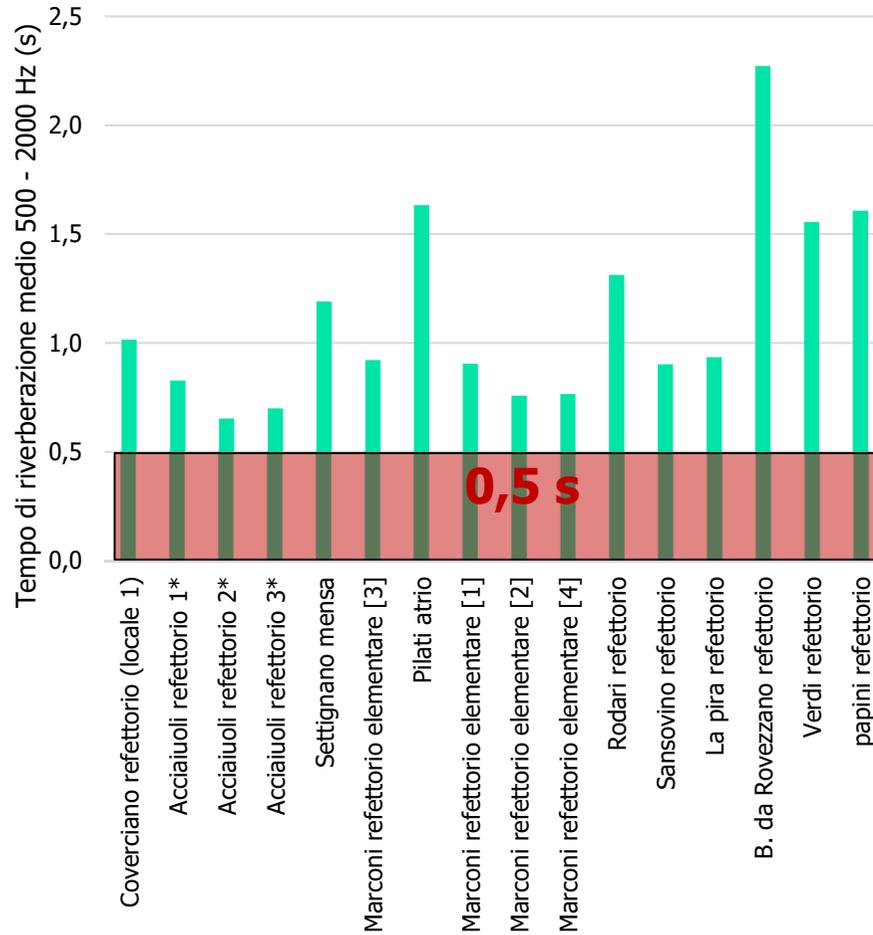
- Scuola dell'infanzia Sansovino
- Scuola dell'infanzia Gianni Rodari
- Scuola dell'infanzia Desiderio da Settignano
- Scuola dell'infanzia Gaetano Pilati
- Scuola dell'infanzia e primaria Guglielmo Marconi
- Scuola dell'infanzia e primaria Giorgio La Pira
- Scuola dell'infanzia e primaria Benedetto da Rovezzano
- Scuola primaria Niccolò Acciaiuoli
- Scuola primaria S. Maria a Coverciano
- Scuola primaria Giosué Carducci
- Scuola primaria Masaccio
- Scuola primaria Montagnola
- Scuola primaria e secondaria di 1° grado Sauro-Papini
- Scuola primaria e secondaria di 1° grado Niccolò Machiavelli
- Scuola secondaria di 1° grado Giuseppe Verdi



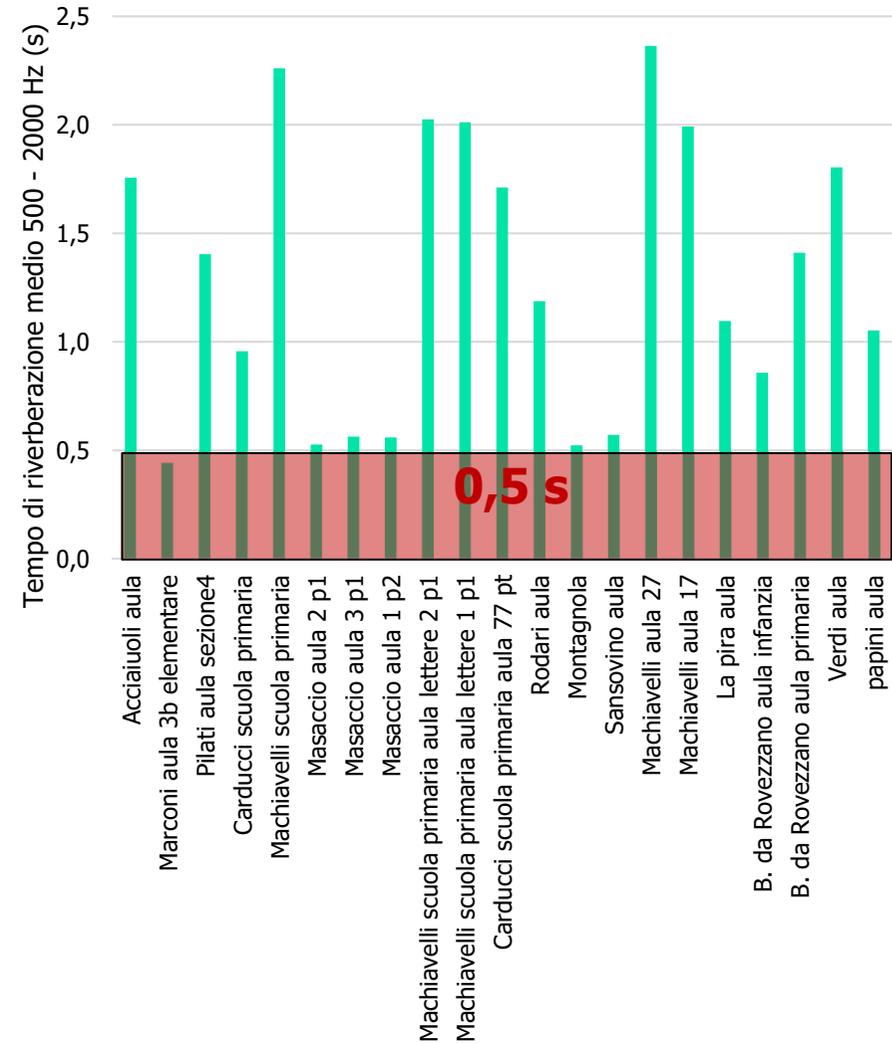
La ricerca svolta da Unifi

La risposta acustica prima degli interventi

Refettori, palestre, atri

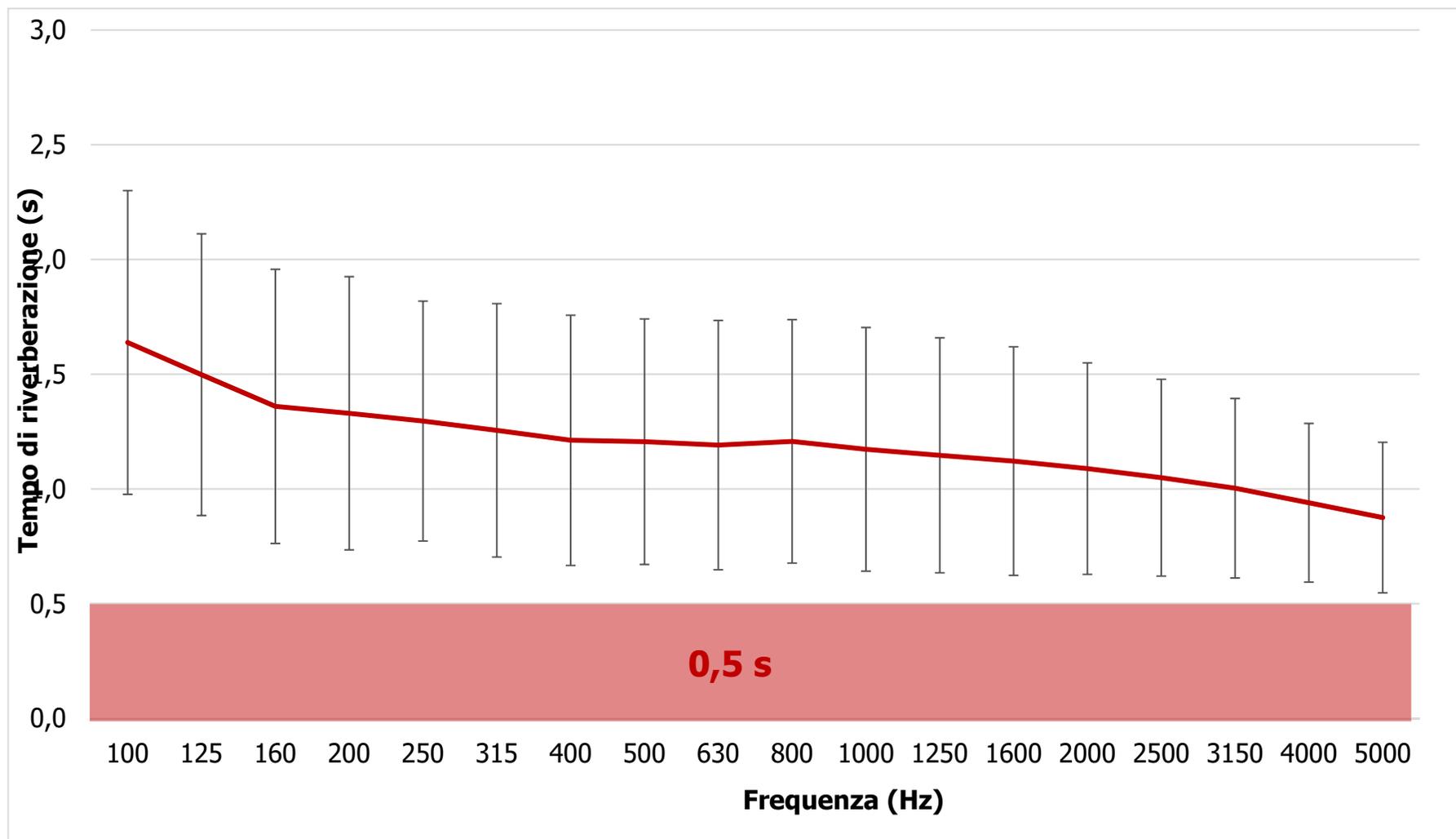


Aule



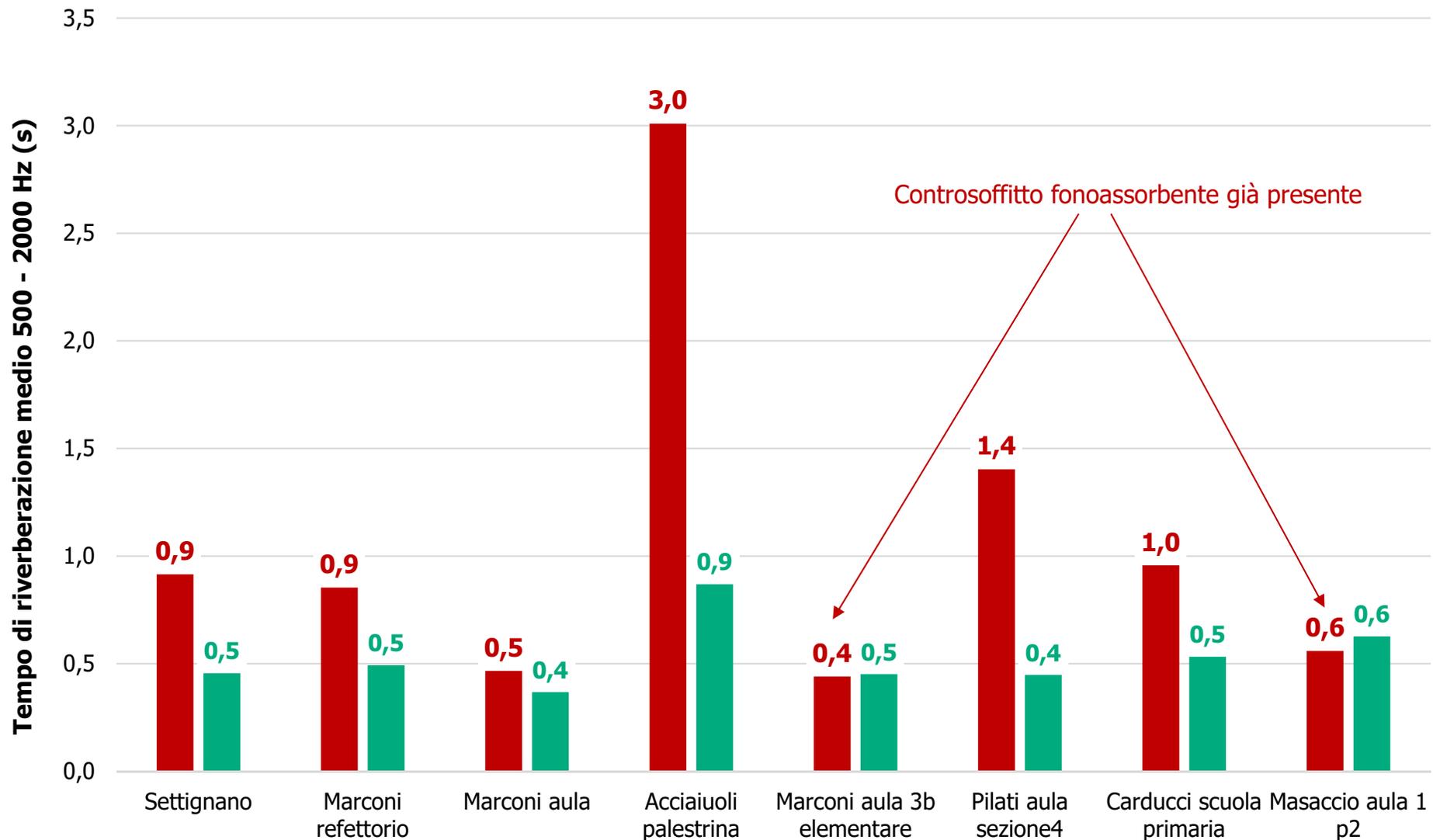
La situazione nelle scuole Italiane

Risultati delle misure del tempo di riverberazione su un campione di circa 100 aule in varie regioni Italiane



La ricerca svolta da Unifi

Il miglioramento ottenuto con gli interventi



La ricerca svolta da Unifi

Il test sulla comprensione

La ricerca, ancora in fase di svolgimento, ha previsto inoltre test di comprensione su alunni in presenza di varie condizioni acustiche dell'aula. I risultati preliminari saranno illustrati dalle presentazioni che seguono.



Il corridoio fonoassorbente

Provate l'effetto del fonoassorbimento entrando nel tunnel fonoassorbente installato nell'atrio del palazzo



Grazie per la partecipazione e per l'attenzione