

Direttive per l'acustica di aule scolastiche e altri ambienti per il parlato

1 Premessa

Queste direttive della Società Svizzera di Acustica SGA-SSA sono state redatte dal Gruppo Acustica degli spazi e approvate dal Consiglio della SGA-SSA in data 11.3.2004. Esse si basano sulla normativa tedesca DIN 18041, Udibilità in spazi piccoli e di media grandezza. [1]

La direttiva rimanda alla norma DIN, senza tuttavia sostituirsi ad essa. Gli Autori partono dal presupposto che la DIN 18041 sia in possesso degli utilizzatori della direttiva stessa.

La direttiva si riferisce inoltre alle raccomandazioni della SGA-SSA per impianti di amplificazione sonora. [2]

Essa restituisce quindi lo stato di arte e tecnica per una buona udibilità in spazi per il parlato.

2 Ambito applicativo della direttiva

Questa direttiva si occupa principalmente dei requisiti acustici per ambienti per la didattica (aule scolastiche, universitarie, auditori etc.) nonché per le palestre.

Nella norma DIN 18041 si fa menzione anche dei requisiti acustici per vari altri spazi di piccola e media dimensione utilizzati per il parlato e la musica, quali ad es. sale comunali, uffici per una o più persone, sportelli bancari e biglietterie, zone accoglienti per il trasporto pubblico, spazi di vendita, strutture ricettive, sale operatorie, etc. Nella presente direttiva si omette il riepilogo del rispettivo requisito acustico.

La norma DIN 18041 e la presente direttiva prestano particolare attenzione alle esigenze di persone con ridotte capacità uditive.

3 Requisiti

3.1 Rumori di disturbo ammissibili

La norma DIN 18041 distingue tra rumore disturbante proveniente dall'edificio (rumore da traffico generato all'esterno, rumore da ambienti contigui) e rumore funzionale nell'edificio (impianti termosantari, proiettori etc.). Per entrambe le tipologie di rumore il livello di rumore disturbante massimo ammissibile è riportato come livello medio ponderato A in Tabella 1 a pagina seguente.

3.2 Indice di volume / tempo di riverberazione

Per raggiungere un tempo di riverberazione sonora idoneo al parlato, la DIN 18041 raccomanda per l'uso della parola un indice di volume (volume ambiente / persona) di **3 - 6 m³ / persona**.

Il tempo di riverberazione di ambienti per la didattica

(aule, locali di gruppo, sale seminari, auditori, aule per didattica a distanza, sale convegni, sale conferenze, etc.) è fissato dalla nuova norma DIN 18041 secondo lo stato della tecnica.

Il **valore ottimale del tempo di riverberazione T_{ott}** espresso in secondi, quale valore medio in bande d'ottava tra 500 Hz e 1000 Hz, è calcolato in dipendenza del volume del locale V [m³] con la seguente formula:

$$T_{ott} = 0.32 \cdot \lg(V) - 0.17$$

Questa relazione è rappresentata in Figura 1. La correlazione con la frequenza è invece in Figura 2.

Il valore ottimale è riferito a condizioni di sala occupata. A sala vuota il tempo di riverberazione non può in generale superare questo valore ottimale di più di 0,2 s.

Persone che presentano danni all'udito valutano l'acustica per la comunicazione verbale tanto più favorevolmente, quanto minore è il tempo di riverberazione. In base alle cognizioni attuali in materia di progettazione e costruzione in assenza di barriere architettoniche, il tempo di riverberazione ottimale per persone con limitate capacità uditive dovrebbe preferibilmente attestarsi, per ambienti di volume fino a 250 m³ e con utilizzo parlato/lezioni, fino al 20% sotto la curva riportata in Figura 1 nelle bande d'ottava da 250 Hz a 2000 Hz. La Figura 2 non è da utilizzare in questo campo di frequenza. Requisiti simili valgono anche per la comunicazione nell'apprendimento di una lingua diversa dalla madrelingua, nella comunicazione interpersonale con chi utilizza l'italiano come lingua straniera, e nella comunicazione con persone che per altri motivi necessitano di maggiore intelligibilità del parlato, ad es. persone affette da disturbi della parola o nell'elaborazione verbale, difficoltà di concentrazione o di attenzione, problemi prestazionali.[†]

Per palestre o piscine con un volume da 2 000 a 8 500 m³ senza pubblico, i tempi di riverberazione sono così definiti (Figura 1):

$$\text{Sport 1: } T_{ott} = 1.27 \cdot \lg(V) - 2.49$$

$$\text{Sport 2: } T_{ott} = 0.95 \cdot \lg(V) - 1.74$$

Sport 1: utilizzo normale e/o ciclo didattico normale (una classe/gruppo sportivo, contenuto didattico omogeneo) Sport 2: cicli di insegnamento misti (più classi/gruppi sportivi paralleli)

3.3 Forma geometrica degli spazi

La *struttura primaria* dello spazio dovrebbe evitare piante circolari ed ellittiche senza interventi integrativi di acustica ambientale, piante trapezoidali con pareti convergenti verso la direzione della rappresentazione sono da preferire rispetto a quelle divergenti.[†]

Requisiti acustici per la funzionalità dell'ambiente	Livello rumore di fondo L_{NA} dB	Idoneità ^a per una distanza: oratore – ascoltatore		Idoneità ^a per persone con perdita d'udito	Idoneità ^a per l'intelligibilità di testi difficili o in una lingua straniera
		media ^{b,c}	grande ^b		
I (minimi)	≤ 40 (alto)	+	-	-	-
II (medi)	≤ 35 (medio)	+	o	o	o
III (alti)	≤ 30 (basso)	+	+	+	+

^a) "+" idonea, "o" limitatamente idonea, "-" non idonea
^b) Per distanza media tra oratore e ascoltatore si prende d'abitudine una distanza da 5 a 8 m, per distanze più grandi > 8 m.
^c) Idonea anche per distanze minori tra oratore e ascoltatore fino a ca. 5 m.

Tabella 1: Descrizione del livello di rumore di fondo ammissibile secondo norma DIN 18041 (Tabella 1)

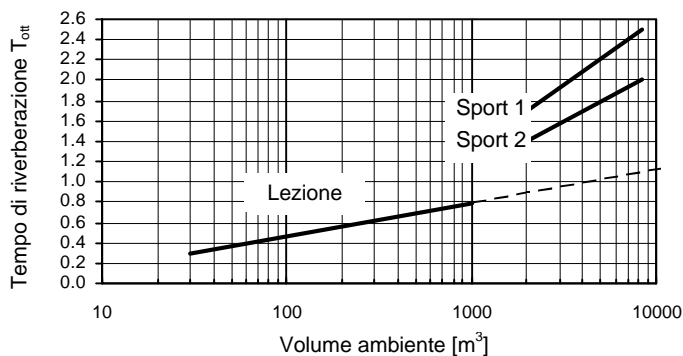


Figura 1 Valore ottimale T_{ott} del tempo di riverberazione medio tra 500 Hz e 1000 Hz ad ambiente occupato in spazi per la didattica, secondo norma DIN 18041, Figura 1

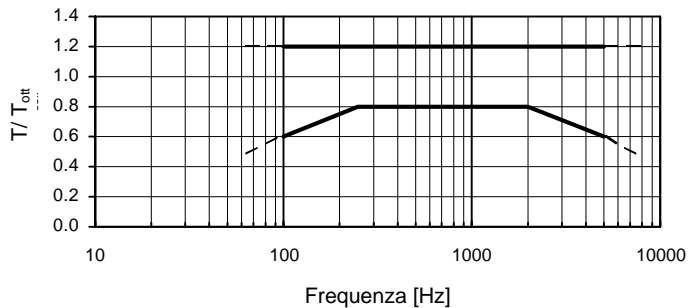


Figura 2 Fascia di tolleranza del tempo di riverberazione consigliato per il parlato in dipendenza dalla frequenza secondo norma DIN 18041, Figura 2

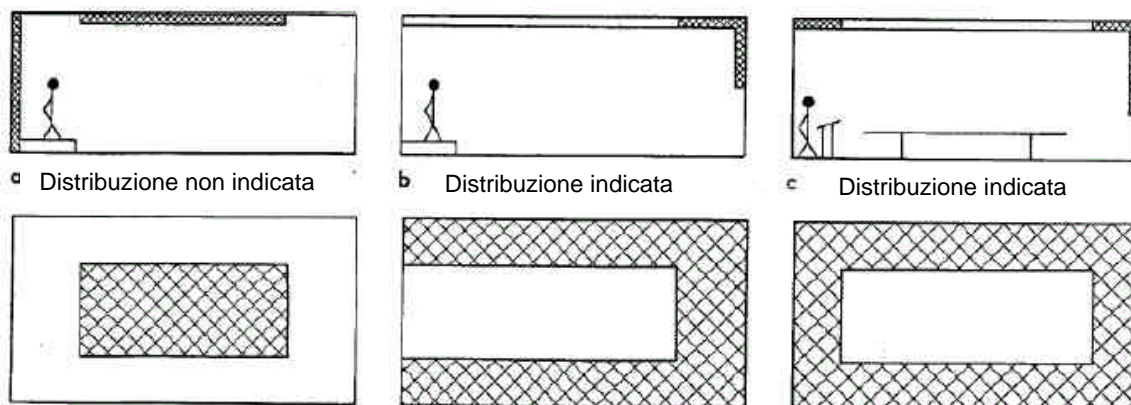


Figura 3 Distribuzione di superfici fonoassorbenti per ambienti da piccole a medie dimensioni, ad es. sale per didattica e conferenze secondo DIN 18041 (Figura 5). In alto sezione longitudinale, in basso proiezione soffitto.

Pareti e soffitti di superficie concava sono problematici dal punto di vista acustico e quindi da evitare senza specifici accorgimenti acustici quando il raggio di curvatura sia compreso tra la metà e il doppio della distanza fra oratore/ascoltatore e il punto più lontano della superficie curva.[†]

Per ottenere una sufficiente quantità di suono diretto senza modifiche della tonalità sarebbe opportuno realizzare una **sopraelevazione delle sedute** (per il dimensionamento cfr. norma DIN 18041).

Nota: persone con limitate capacità uditive sono ulteriormente demandate all'utilizzo di **informazioni visive** (vista della bocca, gesti, mimica, scrittura). Tale aspetto va considerato nella scelta della posizione dell'oratore, nella sua illuminazione, e nell'attrezzatura tecnica del locale.[†]

La **struttura secondaria dello spazio** (conformazione di pareti e soffitto) deve essere realizzata in dipendenza della geometria dello spazio per direzionare e diffondere il suono:[†]

- la **differenza di percorso** tra suono diretto (collegamento visivo con la sorgente sonora) e percentuale ricca di energia sonora riflessa (ad es. riflessioni di primo grado da parete e/o soffitto) non dovrebbe superare, per un utilizzo prevalente per il parlato, i 17 m. Qualora la distanza tra le superfici delle pareti dietro e davanti alla zona dell'oratore fosse maggiore di 9 m, questa parete di fondo deve essere oggetto di trattamento acustico.[†]
- **Prime riflessioni** utili per il rinforzo di chiarezza e trasparenza, tenendo in considerazione la differenza di percorso ammissibile, devono essere raggiunte con zone riflettenti poste al centro del soffitto.[†] (vedi Figura 3)

Nell'ambiente sono da evitare **superfici parallele** se non correlate a ulteriori interventi di correzione acustica degli spazi (fonoassorbimento, diffusione-riflessione o inclinazione di almeno 5°).[†]

4 Interventi

4.1 Interventi di acustica costruttiva

Nel progetto di ambienti per la comunicazione verbale bisogna assicurare, oltre alle relazioni di tipo funzionale, la contiguità di ambienti con potenziale di disturbo ridotto. Una grande distanza da arterie di circolazione principali esterne e interne all'edificio, da locali funzionali rumorosi e da centrali tecniche, riduce gli oneri per l'isolamento acustico costruttivo.[†]

Valgono i requisiti della norma svizzera SIA 181, Fonoisolamento nelle costruzioni. [3]

4.2 Interventi di acustica degli spazi

4.2.1 Locali piccoli di volume inferiore a 250 m³

Geometria del locale

Interventi descritti e modalità di applicazione valgono soprattutto per aule e locali per sedute, locali gruppo in scuole materne e asili nido e altri locali adibiti principalmente alla comunicazione verbale,

anche nel caso di impiego di mezzi audiovisivi. Di norma, in ragione delle dimensioni contenute, non sussiste il rischio di un eccessivo fonoassorbimento nel locale dovuto agli interventi acustici.[†]

Per locali di piccole dimensioni sono favorevoli indici di volume maggiori di quelli indicati al punto 3.2 se si ricorre a corretti interventi di acustica degli spazi.[†]

Particolarmente in spazi di ridotte dimensioni possono presentarsi fastidiosi fenomeni di risonanza alle basse frequenze. Vi si può rimediare con interventi di fonoassorbimento o con la scelta di adeguate proporzioni degli spazi.[†]

Superfici fonoassorbenti

Tipologia e quantità di superfici di materiale fonoassorbente da impiegare nello spazio sono dipendenti da volume e proprietà acustiche delle superfici del locale, elementi d'arredo compresi. Per un volume del locale fino a ca. 250 m³, è in genere sufficiente il calcolo in funzione della frequenza in bande di centro d'ottava comprese tra 125 Hz e 4000 Hz ovvero delle frequenze medie in bande di 1/3 d'ottava tra 100 Hz e 5000 Hz, trascurando il fonoassorbimento dell'aria, secondo la formula di Sabine.[†]

La norma DIN 18041 riporta un dimensionamento approssimativo per la stima delle superfici fonoassorbenti necessarie per differenti gradi di assorbimento valutati α_w secondo la norma EN ISO 11654.

In linea di principio, è preferibile una distribuzione regolare dei materiali fonoassorbenti sulle superfici del locale. Particolarmente indicate sono le disposizioni riportate in Figura 3 b e c. Il dimensionamento delle superfici deriva dai calcoli del tempo di riverberazione di cui sopra. Elementi fonoassorbenti alle basse frequenze sono particolarmente efficaci se situati in prossimità della sorgente sonora, agli angoli o agli spigoli del locale.[†]

4.2.2 Spazi di media grandezza di volume compreso tra 250 m³ e 5'000 m³

Geometria del locale

Queste dimensioni configurano in genere aule più grandi, sale per seminari e auditori. Ambienti di questo volume richiedono, accanto all'impiego di materiali fonoassorbenti che reagiscano a diverse frequenze, la riflessione e il rallentamento delle onde sonore utili, eliminando in tal modo riflessioni indesiderate e dannose.[†]

Sono da evitare spazi di altezza ridotta rispetto a lunghezza e larghezza. In ambienti più grandi le proporzioni degli spazi sono meno problematiche per la maggior densità di modi anche alle frequenze più basse. Pareti parallele tra di loro non trattate sono sfavorevoli, al pari di superfici concave o angoli acuti, che possono portare a fenomeni di eco multipla (*flutter-echo*) o a focalizzazioni nella zona del pubblico (o, se del caso, nelle postazioni dei microfoni).[†]

In auditori più grandi sono da preferire sedute in pendenza rispetto alla disposizione in piano; è vantaggiosa una posizione sopraelevata dell'oratore rispetto al pubblico (ad es. pedana, palco o podio).[†]

Superfici fonoassorbenti

Le superfici necessarie per il fonoassorbimento sono da calcolare secondo la formula di Sabine.

In ambienti di lunghezza maggiore di ca. 9 m, una parte delle onde sonore in ritardo, causa di una perdita di intelligibilità del parlato, può venire riflessa direttamente dalla parete di fondo o tramite riflessioni speculari dallo spigolo verso la porzione anteriore dell'ambiente. In tal caso, queste superfici riflettenti sono da trattare con materiale fonoassorbente o da inclinare in modo da riflettere il suono a guisa di utile rinforzo verso gli ascoltatori più lontani dalla sorgente sonora. Sono favorevoli anche superfici con ricca articolazione.[†]

Nel caso di pareti parallele, almeno una di esse dovrebbe risultare fonoassorbente per forma o articolazione. Ciò vale soprattutto per sale di dimensioni più importanti, con sedute non disposte in pendenza. È inoltre preferibile un'inclinazione delle pareti di ca. 5°.[†]

In spazi di geometria ortogonale e superfici prevalentemente piane (ad es. palestre o piscine) si possono verificare, in caso di distribuzione disomogenea delle superfici fonoassorbenti, ad es. con rivestimento fonoassorbente esclusivamente a soffitto, tempi di riverberazione nettamente superiori rispetto ai calcoli previsionali. Onde evitare questo fenomeno si dovrebbero prevedere, almeno su una parete, interventi combinati di fonoassorbimento o -diffusione. Nel dubbio, si può ricorrere a previsioni più precise, basate su più complessi metodi di calcolo statistico (simulazioni su modelli matematici o fisici). Ciò richiede l'utilizzo di appropriati software di simulazione acustica degli spazi, esperienza nel settore e la sicura padronanza di questi ausili.[†]

5 Requisiti degli impianti di amplificazione sonora per il parlato

Impianti di amplificazione sonora per il parlato devono soddisfare requisiti altamente specifici, che si differenziano notevolmente da impianti per l'amplificazione musicale. Progettazione, realizzazione e controllo devono essere curati da tecnici competenti. La progettazione richiede l'impiego di metodologie moderne (software di progettazione): la scelta deve ricadere sul sistema di amplificazione sonora che garantisce i migliori risultati per l'intelligibilità del parlato.

Impianti di amplificazione sonora sono da progettare, realizzare e utilizzare secondo le raccomanda-

zioni della SGA-SSA [2]. Essi devono soddisfare i requisiti contenuti in questa raccomandazione. Sono da rispettare i valori minimi contenuti nella sottostante Tabella 2 per l'intelligibilità del parlato.

6 Apparecchi uditivi per persone con difficoltà uditive

Persone con difficoltà uditive abbisognano, a differenza di persone dall'udito normale, di una percentuale molto maggiore di suono diretto a fronte di una quantità di suono diffuso proporzionalmente ridotta. Per questo motivo non giova in genere ricorrere a sistemi di amplificazione sonora tramite altoparlanti, mentre è per contro necessario trasmettere direttamente il segnale sonoro al soggetto afflitto da carenze uditive.[†]

Con **impianti sonori induttivi** portatrici e portatori di apparecchi possono ricevere il segnale sonoro in maniera induttiva impostando la posizione T. In questo modo vengono eliminate le riflessioni ambientali di disturbo. Tali apparecchi devono essere progettati, realizzati e utilizzati secondo le raccomandazioni della SGA-SSA. Essi devono soddisfare i requisiti della SGA-SSA ivi contenuti. [2] Ulteriori dati relativi a impianti di amplificazione sonora sono contenuti in una pubblicazione della IGGH: Impianti di amplificazione sonora, apparecchi acustici e acustica degli spazi. [4]

7 Fonti / Riferimenti bibliografici

- [1] DIN 18041:2004-05, Hörsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Räumen.
- [2] SGA-SSA. Beschallungsanlagen für Sprache / Installations de sonorisation pour la parole. SGA-SSA. Luzern. 2001.
- [3] SIA 181, Schallschutz im Hochbau.
- [4] Beschallungsanlagen, Höranlagen und Raumakustik. Schweizerische Fachstelle für behindertengerechtes Bauen. Zürich. 2002.
- [5] Ludowika Huber, Joachim Kahlert, Maria Klatt (Hg). Die akustisch gestaltete Schule: Auf der Suche nach dem guten Ton. Edition Zuhören Band 3, Vandenhoeck & Ruprecht 2002.

I testi [†] così segnati della presente direttiva sono direttamente ripresi dalla norma 18041 [1].

Tipo di locale	Indice di chiarezza C_{50}	Common Intelligibility Scale CIS	Speech Transmission Index STI	Articulation Loss of Consonants Al_{cons}
Piccolo auditorium, aula, spazio per insegnamento	≥ 0 dB	$\geq 0,75$	$\geq 0,56$	< 8 %
Palestre e piscine in presenza di pubblico	≥ -2 dB	$\geq 0,70$	$\geq 0,50$	< 12 %

Tabella 2 Requisiti secondo norma DIN 18041, Tabella 4