

# STIPA: UNA TECNICA INNOVATIVA PER LA VALUTAZIONE DELL'INTELLIGIBILITÀ DEL PARLATO IN AMBIENTI CHIUSI

Franco Bertellino (1), Angelo Canella (1), Igor Nikolic (2), Svein Arne Nørdbby (2)

1) MICROBEL s.r.l., Torino – [www.microbel.it](http://www.microbel.it)

2) NORSONIC AS, Norway – [www.norsonic.com](http://www.norsonic.com)

## 1. La valutazione dell'intelligibilità del parlato attraverso indici

L'indice di trasmissione del parlato STI (*Speech Transmission Index*) si è dimostrato, sin dal primo momento della sua utilizzazione - all'incirca nel 1971 [2] – un valido strumento per la definizione oggettiva dell'intelligibilità del parlato in ambienti per i quali tale tipo di fruizione è di interesse (auditoria, teatri, cinema, sale di vario genere, chiese...).

L'indice STI ha lo scopo di quantificare in modo oggettivo l'intelligibilità del parlato in una specifica posizione di un ambiente, quando il “parlato” viene prodotto attraverso un segnale normalizzato in un'altra specifica posizione dell'ambiente stesso.

Il metodo STI risulta particolarmente utile per valutare gli effetti di modifiche introdotte nell'ambiente (presenza di persone, modifiche geometriche, presenza di materiali per la correzione acustica).

Inoltre, il metodo dimostra una sua utilità anche nella previsione della qualità dell'intelligibilità del parlato quando si confrontano ambienti diversi o un canale di comunicazione.

Allo scopo di semplificare la misura dello STI fu ideato nel 1979 il metodo RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*), che si concretizza nella misura dei parametri di modulazione in sole due bande di frequenza (500 Hz e 2 kHz).

La rapidità della misura (circa 10 secondi) e la disponibilità di strumenti atti a misurare il parametro RASTI fecero sì che tale parametro avesse successo nel settore dell'acustica architettonica.

Tuttavia, il RASTI perde di senso quando si tratta di ambienti molto riverberanti o nei quali il segnale viene riprodotto con sistemi fortemente non lineari o con banda passante ridotta.

Di recente l'organizzazione internazionale IEC ha avviato le procedure di revisione della norma IEC 60268-16 [1], che contiene appunto la metodologia per il calcolo dell'indice STI, sulla base delle attività di ricerca condotte principalmente presso l'Istituto olandese TNO da Tammo Houtgast e Herman Steeneken.

## 2. Definizione dell'indice STI

L'indice STI si basa sul concetto di modulazione di una portante, in quanto si ipotizza che il parlato umano sia rappresentabile in tal modo.

Nel metodo STI classico la portante è rappresentata da un segnale stazionario gaussiano suddiviso in sette bande di ottava di ampiezza pari a 1/2 banda di ottava nella gamma 125 Hz – 8 kHz, mentre ciascuna banda viene modulata in ampiezza con una frequenza variabile da 0,63 a 12,5 Hz, con un passo di 1/3 di ottava (in tutto 14 frequenze di modulazione).

Dunque si tratta di un segnale complesso costituito da un insieme di 98 combinazioni (14 frequenze di modulazione x 7 bande di frequenza), che devono essere riprodotte da un altoparlante delle dimensioni di una bocca umana, che funge da “parlatore”.

Poiché il segnale all'origine è noto, si può determinare l'intelligibilità del parlato in una postazione dell'ambiente in studio confrontando il grado di modulazione e il livello di ciascuna combinazione con i gli stessi parametri all'origine dell'emissione: in sostanza, il metodo associa le caratteristiche dell'ambiente con la funzione di trasferimento determinata dal confronto fra l'input (il segnale modulato con cui si alimenta l'altoparlante) e l'output (il segnale microfonico nella postazione in cui occorre determinare lo STI): il segnale microfonico viene infatti modificato dalle caratteristiche emissive della catena di amplificazione e diffusione sonora e dalle caratteristiche acustiche dell'ambiente (tempo di riverberazione, rumore di fondo o meglio rapporto segnale/rumore).

Lo STI, sotto certe ipotesi, può anche essere direttamente definito attraverso il concetto di tempo di riverberazione e di rapporto segnale/rumore, attraverso la seguente relazione, che esprime la funzione di trasferimento della modulazione:

$$(1) \quad m(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(2\pi f \frac{T}{13,8}\right)^2}} \cdot \frac{1}{1 + 10^{0,1(-S/N)}}$$

Lo STI è appunto una media ponderata delle varie funzioni di trasferimento della modulazione  $m(f)$ . Dalla relazione che definisce  $m(f)$  si comprende come al crescere del tempo di riverberazione si riduca  $m(f)$  - e quindi STI- alle frequenze più alte, mentre un basso rapporto segnale/rumore (S/N) faccia peggiorare  $m(f)$  a tutte le frequenze.

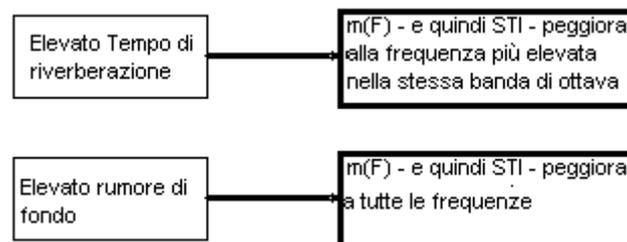


Figura 1 – Comportamento dell'indice di intelligibilità STI in funzione dei fattori di influenza

Uno dei principali limiti del metodo STI classico è il tempo necessario per eseguire una misura: infatti, se si ipotizza di misurare ogni possibile combinazione per almeno 10 secondi si ottiene un totale di tempo di misura di 980 secondi (oltre 16 minuti) per ciascuna postazione.

Il metodo, inoltre, non permette di tenere conto di altre importanti caratteristiche, quali le non linearità del sistema di trasmissione.

Il tempo di misura può essere notevolmente ridotto se si assume che il sistema di trasmissione sia lineare: in questo caso il segnale di eccitazione può contenere simultaneamente tutte le frequenze di modulazione e le diverse componenti possono essere separate in fase di analisi del segnale microfonico utilizzando filtri o l'analisi di Fourier; in alternativa è possibile ricavare l'indice STI a partire dalla risposta all'impulso dell'ambiente.

### 3. L'evoluzione dello STI: il metodo STIPA

Quando capita di dover valutare l'intelligibilità del parlato in ambienti riverberanti o rumorosi (stazioni, aeroporti, ambienti industriali, chiese...), oppure in ambienti nei quali il sistema di diffusione sonora è di scarsa qualità, lo STI ed il RASTI non sono più adatti.

In tali casi è conveniente utilizzare una nuova variante del metodo, denominata "STIPA" (Speech Transmission Index Public Address).

Si tratta di un metodo che si basa sull'utilizzo di tutte le sette bande di frequenza insite nella definizione dello STI (da 125 Hz a 8 kHz), ma vengono misurati solo 12 indici di modulazione (invece di 98), secondo lo schema di combinazioni indicato nella seguente figura 1.

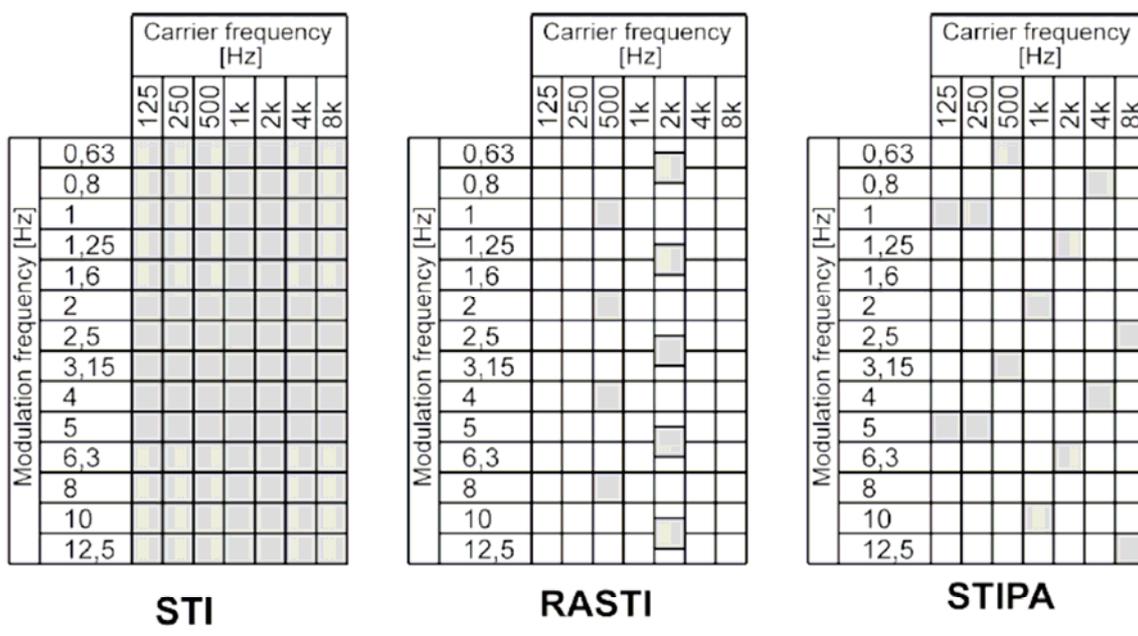


Figura 2 – Schema delle frequenze portanti e modulanti del metodo STIPA

Il metodo permette di eseguire una misura dell'indice STIPA nello stesso tempo necessario per il RASTI (circa 10 – 15 secondi), ed in tal modo è dunque possibile caratterizzare molti punti di un ambiente in tempi assolutamente ragionevoli.

Allo scopo di velocizzare la misura le sette bande di frequenza vengono riprodotte contemporaneamente e modulate in ampiezza al 55% con le frequenze indicate in tabella.

E' possibile misurare lo STIPA utilizzando un piccolo altoparlante di diametro massimo 100 mm (conforme alla raccomandazione ITU-T P.51 del 1996 relativa alle caratteristiche della "bocca artificiale"). E' importante che il sistema di riproduzione sia lineare nella gamma 100 Hz – 10 kHz.

Naturalmente, se lo scopo è verificare la distorsione di un sistema di riproduzione sonora questo requisito perde di senso (è possibile, fra l'altro, valutare anche l'intelligibilità di un canale di trasmissione inviando direttamente all'ingresso preamplificato il segnale da analizzare).

Il fonometro NORSONIC NOR-118 permette attraverso una sua opzione la misura diretta dello STIPA, attraverso i seguenti passi:

- Calibrazione del fonometro;
- Regolazione del volume sonoro del sistema di riproduzione sonora, che deve essere regolato secondo i normali livelli di emissione (ad es., nel caso di un oratore, a circa 60 dBA a 1 m dalla bocca dell'oratore);
- Verifica dello STIPA in condizioni ideali (cioè nella posizione di riferimento a 1 m dalla sorgente: in tali condizioni lo STIPA deve valere circa 1);
- Posizionamento del fonometro nella/e posizione/i di interesse;
- Misura dello STIPA (di durata circa 15 secondi)
- Confronto con i limiti di intelligibilità per la valutazione.

Il fonometro NOR 118 indica anche il valore di intelligibilità secondo il criterio della IEC 60849:1998 "Sistemi sonori per segnalazioni di emergenza", denominato CIS (*Common Intelligibility Scale*). Sebbene il CIS e lo STI siano legati da una relazione non lineare, entrambe i parametri variano tra 0 (assenza di intelligibilità) e 1 (intelligibilità eccellente).

Durante la misura il fonometro – attraverso l'analisi di Fourier - è in grado di misurare la funzione di trasferimento della modulazione conoscendo il tasso di modulazione del segnale riprodotto (55%) in emissione; tale funzione di trasferimento viene poi corretta per compensare gli effetti di mascheramento e di soglia uditiva del sistema uditivo umano.

#### **4. Utilizzi principali del metodo STIPA**

Oltre che per gli scopi principali (determinazione dell'intelligibilità di sale e ambienti generici, verifica dell'intelligibilità di sistemi di diffusione in chiese, auditoria, mezzi di trasporto, ..., determinazione dell'intelligibilità di segnali di allarme in ambienti industriali e pubblici), lo STIPA può essere utilizzato per determinare gli effetti sull'intelligibilità di un rumore di fondo (ad esempio il rumore di un impianto di condi

zionamento in un auditorium) o della presenza di persone, rispetto ad una situazione in assenza di persone.

In alcuni casi occorre prestare attenzione alle caratteristiche del rumore di fondo, in quanto se questo presenta carattere non stazionario con componenti impulsive, si può verificare una non corretta misura dello STIPA a causa dell'interpretazione dubbia del rumore di fondo in fase di analisi e valutazione.

Nel caso di un auditorium per il quale interessa determinare l'intelligibilità con e senza il pubblico è possibile eseguire la misura senza il pubblico e simulare la presenza del pubblico introducendo un "rumore di fondo ipotetico" dato dalla presenza del pubblico. La correzione viene eseguita attraverso la seguente relazione:

$$(2) \quad mc_{k,f} = m_{k,f} \frac{I_k}{I_k + Irs_k + Ino_k + Iam_k}$$

dove

$mc_{k,f}$  = funzione corretta di trasferimento della modulazione

$m_{k,f}$  = funzione di trasferimento della modulazione misurata

$I_k$  = intensità sonora misurata nella banda di frequenza  $k$

$Irs_k$  = intensità sonora nella banda di frequenza  $k$  relativa alla soglia uditiva

$Ino_k$  = intensità (opzionale) nella banda di frequenza  $k$  relativa a uno specifico rumore di fondo

$Iam_k$  = intensità sonora nella banda di frequenza  $k$  relativa all'effetto di mascheramento

È importante, una volta eseguite le misure, prestare attenzione alla comprensione dei risultati, espressi sotto forma di livello e di indice di modulazione per ciascuna banda di ottava: di regola, l'indice di modulazione in ciascuna banda di ottava dovrebbe decrescere al crescere della frequenza di modulazione.

Valori costanti o leggermente decrescenti dell'indice di modulazione segnalano la presenza di rumore di fondo, mentre forti riduzioni dell'indice indicano che è la riverberazione l'effetto principale.

Se i valori dell'indice di modulazione crescono al crescere della frequenza di modulazione vi può essere la presenza di onde stazionarie o forti riflessioni, e questo può comportare una stima troppo ottimistica dello STIPA, che dovrà dunque essere prudentemente valutato.

## 5. Applicazione dello STIPA: l'intelligibilità del parlato in una grande chiesa

Il Santuario di Santa Rita è una delle chiese più importanti della città di Torino, sia sotto il profilo musicale (l'organo di questa chiesa è fra i più grandi d'Italia), sia per il fatto di essere un Santuario sempre frequentatissimo.

Il Santuario è un buon esempio di architettura neogotica, e la particolare complessità architettonica (presenza di cupole, tre navate piuttosto ben separate fra loro, ...) rendono questo ambiente molto interessante dal punto di vista acustico.

Si è voluto pertanto caratterizzare l'intelligibilità del parlato all'interno della chiesa utilizzando l'impianto di diffusione esistente e simulando il parlato dal pulpito principale.

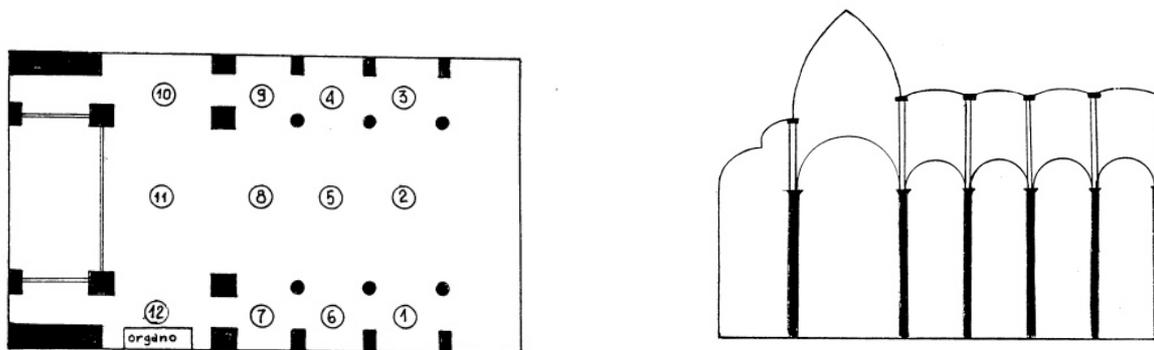


Figura 3 – Planimetria e sezione del Santuario di Santa Rita in Torino. Nella planimetria sono indicati i punti di misura dell'indice STIPA

Il sistema di diffusione sonora è basato su 14 altoparlanti a colonna ad una altezza da terra di circa 1 m. Il Santuario ha un tempo di riverberazione che varia da 5 secondi a 125 Hz a 1 secondo a 8 kHz.

L'indice di intelligibilità classico (lo STI) è stato calcolato sulla base della conoscenza del tempo di riverberazione secondo il metodo della IEC 60268-16(2005), ed è risultato essere sempre inferiore a 0,45 a chiesa vuota (quindi una intelligibilità scarsa).

I risultati relativi allo STIPA misurato in 12 diverse postazioni (indicate in figura 3) sono riportati di seguito (il tempo impiegato per eseguire le misure è stato complessivamente inferiore a 15').

punto	STI	CIS	LA	250	500	1000	2000	4000	8000	12,5					
				1	5	0,63	3,15	2	10	1,25	6,3	0,8	4	2,5	12,5
pul-pito	<b>0,82</b>	0,91	70	0,89	0,67	0,93	0,86	0,89	0,82	1,01	0,89	0,95	0,93	0,98	0,81
<b>1</b>	<b>0,42</b>	0,62	55,2	0,21	0,28	0,22	0,08	0,32	0,18	0,43	0,32	0,82	0,52	0,78	0,39
<b>2</b>	<b>0,44</b>	0,65	55,4	0,26	0,04	0,39	0,08	0,3	0,41	0,54	0,47	0,08	0,86	0,85	0,74
<b>3</b>	<b>0,41</b>	0,61	54,6	0,28	0,03	0,39	0,09	0,26	0,17	0,61	0,33	0,81	0,44	0,75	0,26
<b>4</b>	<b>0,45</b>	0,65	55,3	0,53	0,06	0,49	0,08	0,37	0,21	0,65	0,33	0,76	0,52	0,81	0,45
<b>5</b>	<b>0,43</b>	0,63	55,2	0,51	0,18	0,6	0,21	0,39	0,19	0,55	0,18	0,75	0,42	0,64	0,2
<b>6</b>	<b>0,46</b>	0,66	55	0,24	0,05	0,52	0,23	0,41	0,31	0,54	0,29	0,9	0,51	0,71	0,33
<b>7</b>	<b>0,45</b>	0,66	56,5	0,55	0,34	0,6	0,25	0,36	0,17	0,66	0,27	0,69	0,45	0,61	0,25
<b>8</b>	<b>0,42</b>	0,62	55,5	0,55	0,11	0,55	0,16	0,36	0,15	0,51	0,16	0,7	0,39	0,66	0,32
<b>9</b>	<b>0,42</b>	0,62	55,1	0,49	0,19	0,58	0,03	0,35	0,13	0,6	0,19	0,91	0,44	0,55	0,35
<b>10</b>	<b>0,37</b>	0,57	55,6	0,45	0,21	0,43	0,14	0,26	0,16	0,49	0,26	0,52	0,45	0,03	0,23
<b>11</b>	<b>0,43</b>	0,63	55,8	0,57	0,1	0,56	0,14	0,35	0,17	0,55	0,18	0,8	0,44	0,69	0,34
<b>12</b>	<b>0,52</b>	0,71	57,8	0,55	0,34	0,63	0,51	0,39	0,27	0,65	0,37	0,74	0,68	0,83	0,49

Tabella 1 – Valori dell'Intelligibilità del parlato espressa attraverso l'indice STI/CIS

Valore di STI	Valutazione dell'intelligibilità
$STI > 0,75$	Eccellente
$0,60 < STI < 0,75$	Buona
$0,45 < STI < 0,60$	Discreta
$0,30 < STI < 0,45$	Scarsa
$STI < 0,30$	Cattiva

Tabella 2 – Valori di confronto per l'intelligibilità del parlato espressa attraverso l'indice STI

I risultati dimostrano che l'effetto principale della scarsa qualità sonora della chiesa è il tempo di riverberazione, in quanto gli indici di modulazione all'interno della stessa banda di ottava subiscono dei forti decrementi.

In effetti, il tempo di riverberazione a chiesa vuota è molto elevato (5 secondi in dBA), ben al di sopra di tempi accettabili, anche per una chiesa.

## 6. Conclusioni

Si è voluto dimostrare che il metodo "STIPA" può essere convenientemente utilizzato negli ambienti per l'ascolto del parlato per una caratterizzazione acustica rapida e accurata.

Il metodo STIPA (derivante dalla norma IEC 60268-16) è stato implementato come opzione del fonometro/analizzatore NORSONIC Nor118.

## 7. Bibliografia

- [1] IEC 60268-16:2003, " Sound System Equipment – Part 16: Objective Rating of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index " International Electrotechnical Commission
- [2] T. Houtgast, H. Steeneken, " Evaluation of Speech Transmission Channels by Using Artificial Signals" ACUSTICA, vol. 25, 1971
- [3] T. Houtgast, H Steeneken, Predicting Speech Intelligibility in Rooms from the modulation Transfer Function" ACUSTICA, vol 46, 1980
- [4] ITU-T Recommendation P.51:1996, Artificial Mouth
- [5] IEC 60849:1998 Sound Systems for Emergency Purposes