

ACUSTICA APPLICATA E ILLUMINOTECNICA

PARTE I FONDAMENTI DI ACUSTICA APPLICATA

CAPITOLO 8 INTRODUZIONE ALL'ACUSTICA DELLE SALE

APPROFONDIMENTO I.8.4.2: TECNICHE DI VALUTAZIONE E DI MISURA DELL'INDICE STI

Il calcolo dell'indice STI è basato sulla misura della Funzione di Trasferimento della Modulazione, ($m(F)$), funzione che quantifica in quale misura viene ridotto l'indice di modulazione dell'intensità di un segnale di test in ingresso a un ambiente o a un canale di trasmissione, (m_i), nella posizione di ascolto (m_o).

Il segnale di test è costituito da 7 segnali di rumore rosa, che fungono da portanti, ciascuno di ampiezza pari a una delle sette bande di ottava con frequenze nominali comprese 125 e 8000 Hz, tipiche della voce umana; ciascuna banda di ottava è modulata sinusoidalmente in ampiezza per 14 frequenze, che vanno da 0,63 Hz a 12.5 Hz, le quali rappresentano le frequenze di modulazione corrispondenti alle fluttuazioni temporali rilevanti dei segnali vocali naturali. Il livello sonoro per ogni banda di ottava è fissato in funzione dello sforzo vocale e di un spettro del parlato normalizzato a 1 m di distanza dalla bocca di un parlatore.

Il metodo richiede quindi di determinare una famiglia di Funzioni di Trasferimento della Modulazione ($m(F)$) attraverso la misura di 98 valori (7 portanti x 14 modulanti) dell'indice di riduzione della modulazione (m).

Ognuno di questi valori, calcolato per ciascuna banda di frequenza portante e per ciascuna frequenza di modulazione, può essere interpretato come un Rapporto Segnale-Rumore Efficace (SNR_{eff}), espresso secondo l'Equazione I.8.4.2.1, il quale non distingue in alcun modo il tipo di fenomeno che può essere causa di una riduzione dell'indice di modulazione (rumore di fondo, echi, riverberazione, ecc.).

$$SNR_{eff\ k,f_m} = 10 \log \frac{m_{k,f_m}}{1 - m_{k,f_m}} \quad [dB] \quad (I.8.4.2.1)$$

I valori assunti dal Rapporto Segnale-Rumore Efficace vengono limitati nell'intervallo compreso tra -15 dB e 15 dB; tutti i valori inferiori o superiori vengono assegnati all'estremo corrispondente dell'intervallo.

L'indice STI viene calcolato a partire da una media pesata di tutti i valori calcolati del Rapporto Segnale-Rumore Efficace, i quali vengono precedentemente normalizzati calcolandone per ciascuno l'indice di trasmissione (TI) secondo l'Equazione I.8.4.2.2.

$$TI_{k,f_m} = \frac{SNR_{eff\ k,f_m} + 15}{30} \quad (I.8.4.2.2)$$

In condizioni di campo sonoro perfettamente diffuso e per distanze parlatore ascoltatore molto maggiori della distanza critica, concetti questi trattati all'interno del capitolo I.6, i 98 valori della Funzione di Trasferimento della Modulazione possono

essere invece determinati a partire dalla conoscenza dei tempi di riverberazione e del rapporto segnale rumore, per ciascuna delle bande di ottava portanti, nel punto di ascolto, attraverso la seguente espressione (Equazione 1.8.4.2.3):

$$m(f_m) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi f_m T}{13,8}\right)^2}} * \frac{1}{1 + 10^{-SNR/10}} \quad (1.8.4.2.3)$$

La misura dello STI può essere realizzata attraverso due distinte tipologie di metodi: i metodi diretti e i metodi indiretti.

I *metodi diretti* utilizzano il segnale di test completo sopradescritto e richiedono di determinare in successione i 98 distinti valori della Funzione di Trasferimento della Modulazione, con tempi di misura estremamente onerosi. Per tale motivo sono stati nel tempo sviluppati e proposti metodi di misura più veloci, basati sulla semplificazione del segnale di prova e caratterizzati dalla misura di un numero ridotto di valori della Funzione di Trasferimento della Modulazione; tra questi metodi, il cui impiego è limitato dalla verifica di restrittive condizioni sull'ambiente o sul canale di trasmissione, troviamo il RASTI (*RAPid Speech Trasmisssion Index*), ritenuto però obsoleto e non più utilizzato, lo STITEL (*STI for TELEcommunication systems*) e lo STIPA (*Sound Trasmisssion Index for Public Adress systems*).

L'indice *STITEL*, utilizzato in particolare per valutare l'intelligibilità del parlato nei sistemi di comunicazione ma sensibile alle distorsioni introdotte dai sistemi stessi, viene ricavato a partire dalla valutazione di soli 7 valori della Funzione di Trasferimento della Modulazione; il segnale di test utilizzato applica simultaneamente, a ciascuna delle 7 bande di ottava portanti, una sola frequenza modulante opportunamente scelta.

L'indice *STIPA* permette la valutazione rapida dell'intelligibilità del parlato nel caso di utilizzo di sistemi di comunicazione al pubblico, attraverso la valutazione di soli 14 valori della Funzione di Trasferimento della Modulazione; il segnale di test utilizzato applica simultaneamente, a ciascuna delle 7 bande d'ottava portanti, 2 sole frequenze modulanti opportunamente scelte.

I *metodi indiretti*, invece, si basano sulla misura della risposta all'impulso del canale di trasmissione, la quale permette di determinare la Funzione di Trasferimento della Modulazione attraverso il metodo conosciuto come metodo di Schroeder. La Funzione di Trasferimento della Modulazione ($m_{f,k}$) per la banda di ottava (k) modulata alla frequenza (f_m) può calcolata attraverso la seguente espressione:

$$m_k(f_m) = \frac{\left| \int_0^\infty h_k(t) e^{-j2\pi f_m t} dt \right|}{\int_0^\infty h_k(t)^2 dt} * \frac{1}{1 + 10^{-SNR_k/10}} \quad (1.8.4.2.4)$$

dove:

- $h_k(t)$ è la risposta all'impulso per la banda d'ottava k ;
- f_m è la frequenza di modulazione;
- SNR_k è il rapporto segnale rumore in [dB].

Questi metodi sono caratterizzati da tempi di misura contenuti ma possono essere applicati solo a sistemi di trasmissione lineari e tempo invarianti a causa delle ipotesi alla base della teoria riguardante la misura della risposta impulsiva di un

sistema; per questo motivo non sono idonei a essere applicati nel caso di ambienti che utilizzano sistemi di amplificazione sonora con banda passante limitata e che producono distorsioni non lineari sul segnale di ingresso.

Generalmente i metodi indiretti richiedono, per ciascuna posizione di valutazione dello STI, una misura della risposta all'impulso ($h(t)$) del sistema di trasmissione in condizioni di rumore di fondo trascurabile, e una misura del rumore di fondo nelle condizioni rappresentative della reale rumorosità presente, necessaria a determinare il rapporto segnale rumore SNR.

I metodi indiretti possono utilizzare, come segnali di test, segnali a banda larga tra i quali il rumore rosa, il segnale MLS (*Maximum Length Sequences*) filtrato con lo spettro del parlato di genere maschile e/o femminile o il segnale *Sine Sweep* logaritmico; la scelta del segnale di test più idoneo può essere realizzata in relazione al tipo di canale di trasmissione testato e alle condizioni di misura (rumore di fondo, riverberazione ecc.), in accordo con le prescrizioni della Norma BS EN 60628-16.

Indipendentemente dalla tipologia di metodo utilizzato, sia esso diretto o indiretto, la procedura di misura dello STI prevede che il segnale di test venga riprodotto attraverso l'utilizzo di un diffusore acustico, posizionato nella posizione occupata dal parlatore, avente caratteristiche di direttività analoghe a quelle della voce umana; a tale scopo può essere utilizzato il simulatore di testa torso, dotato di un simulatore di bocca artificiale, descritto all'interno del Paragrafo I.3.4. Il segnale di test, il cui livello di pressione sonora di riproduzione deve essere calibrato in funzione dello sforzo vocale in relazione al quale si desidera valutare l'intelligibilità del canale di trasmissione, verrà riprodotto direttamente in ambiente, nel caso di comunicazione diretta, o all'ingresso di un microfono, nei casi in cui venga utilizzato un sistema di amplificazione sonora o un sistema di comunicazione personale; in questi ultimi casi il segnale di test, dopo opportune verifiche di integrità, può anche essere iniettato elettricamente nel canale di trasmissione. Le misure necessarie al calcolo dello STI possono essere realizzate, nelle posizioni di ascolto, mediante un fonometro o attraverso un analogo simulatore di testa torso.