

VALUTAZIONE NUMERICA DEL COCKTAIL PARTY EFFECT NELL'ACUSTICA DEGLI AMBIENTI CHIUSI

Fabio Fantozzi (1), Francesco Leccese (2), Giacomo Salvadori (3)

1) Dip.to di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi del Territorio e delle Costruzioni, Università di Pisa, f.fantozzi@ing.unipi.it

2) Dip.to di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi del Territorio e delle Costruzioni, Università di Pisa, f.leccese@ing.unipi.it

3) Dip.to di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi del Territorio e delle Costruzioni, Università di Pisa, giacomo.salvadori@unipi.it

SOMMARIO

Il problema di riconoscere selettivamente un segnale proveniente da una sorgente ed ignorare i segnali emessi da tutte le altre sorgenti presenti nello stesso ambiente, ha assunto attualmente un notevole interesse in vari contesti applicativi. Nel presente lavoro è analizzato il *cocktail party effect* ai fini di ottenere un adeguato comfort acustico negli ambienti interni, per questo viene proposto un modello di calcolo analitico atto a valutare il numero massimo di parlatori che possono essere presenti in un ambiente per assicurare una buona intelligibilità delle conversazioni che vi si svolgono.

1. Introduzione

Il termine *cocktail party effect* è stato coniato a metà del '900 da Cherry [1] in un lavoro in cui veniva studiata la capacità del sistema uditivo umano di focalizzare l'attenzione su di un singolo parlatore in un ambiente in cui sono contemporaneamente presenti più parlatori. L'argomento fu successivamente ripreso da vari autori e nel 1959 W.R. MacLean [2] propose una relazione per valutare il numero massimo di persone presenti in una sala ristorante per assicurare una accettabile intelligibilità delle conversazioni che si svolgono nei vari tavoli. Il problema di riconoscere selettivamente un segnale proveniente da una sorgente ed ignorare i segnali emessi da tutte le altre sorgenti presenti nello stesso ambiente, ha assunto attualmente un notevole interesse in vari contesti applicativi, per esempio nelle sale per ristorazione, nei call center, negli studi di registrazione, in ambienti con sistemi a riconoscimento vocale o dove sono svolte attività multitasking ed anche nello studio del comportamento animale [3-10].

Nel presente lavoro è analizzato il *cocktail party effect* ai fini di ottenere un adeguato comfort acustico negli ambienti interni. A tale scopo viene proposto un modello di calcolo analitico atto a valutare il numero massimo di parlatori che possono essere presenti in un ambiente per assicurare una buona intelligibilità delle conversazioni che vi si svolgono. Il numero massimo di parlatori viene studiato in funzione: della differenza di livello tra suono utile e suono disturbante; dell'assorbimento acustico della sala e della distanza media parlatore-ascoltatori. Il modello di calcolo proposto permette una stima cautelativa della situazione di comfort acustico e può risultare assai utile, in fase di progetto, per valutare gli effetti delle possibili correzioni acustiche da effettuare in ambienti interni acusticamente qualificati.

2. Modello di calcolo analitico

Si consideri un ambiente chiuso di volume V e superficie interna di involucro S , arredato con N_0 tavoli con m sedie ciascuno e si assuma, a titolo esemplificativo, che tale ambiente rappresenti una sala ristorante. La capienza massima prevista per l'ambiente risulterà quindi pari a $M_0 = mN_0$ persone (con M_0 ovviamente inferiore al numero massimo di persone consentito in relazione all'indice di affollamento previsto dalla normativa in base alla destinazione d'uso). Nell'ambiente si potranno avere M persone distribuite nei vari tavoli in ciascuno dei quali

sono sedute m persone, avendo così $N = M/m$ tavoli occupati. Sia r la distanza media tra un parlatore P e i relativi ascoltatori A seduti al medesimo tavolo. Il campo sonoro nell'ambiente si suppone uniformemente distribuito e si considera trascurabile il rumore di fondo dovuto a sorgenti esterne o interne (come per esempio l'eventuale sistema di climatizzazione). In prima approssimazione si trascura l'assorbimento acustico dovuto alle persone. Se nella sala è presente un solo gruppo di conversazione il disturbo è nullo e la densità del suono utile, D_u (J/m^3), è data da:

$$(1) \quad D_u = D_D + D_R$$

con D_D e D_R rispettivamente la densità del campo diretto e di quello riverberato. In presenza di più gruppi di conversazione il suono utile per gli ascoltatori di ciascun tavolo è ancora dato dalla Eq. (1), mentre la densità D_n del disturbo risulta:

$$(2) \quad D_n = (N - 1)D_R$$

avendo supposto per tutti i parlatori la stessa potenza di fonazione w (W) e la distanza tra i tavoli tale che agli ascoltatori di ciascun tavolo non risulti distinguibile il suono proveniente dai parlatori posti negli altri tavoli. Si considera un parlatore per ogni tavolo e che questi parlatori siano tutti simultaneamente attivi. Indicando con η il rapporto: $\eta = D_u/D_n$, la differenza di livello ΔL tra il suono utile e quello disturbante è data da:

$$(3) \quad \Delta L = 10 \log \eta$$

da cui risulta:

$$(4) \quad \eta = 10^{\Delta L/10}$$

Si osservi che la differenza di livello sonoro (ΔL) gioca un ruolo assai importante per valutare l'intelligibilità delle conversazioni che si svolgono ai vari tavoli. Per D_D e D_R valgono le relazioni:

$$(5) \quad D_D = \frac{Q w}{4 \pi c r^2} \quad ; \quad D_R = \frac{4 w}{c H}$$

con H (m^2) costante della sala ($H = S\alpha/1 - \alpha$), Q fattore di direttività delle sorgenti e c velocità del suono nell'aria. Per le Eq. (1), (2) e (5) il rapporto η si può scrivere come:

$$(6) \quad \eta = \frac{1}{N - 1} \left(1 + \frac{D_D}{D_R} \right) = \frac{1}{N - 1} (1 + \phi^2)$$

essendo:

$$(7) \quad \phi^2 = \frac{D_D}{D_R} = \frac{r_0^2}{r^2} \quad ; \quad r_0^2 = \frac{QH}{16\pi}$$

Il coefficiente medio globale di assorbimento acustico (α) della sala può calcolarsi come:

$$(8) \quad \alpha S = \alpha_p S_p + \sum \alpha_i S_i + N_0 u + N_0 m a_s + 4\mu V + p$$

con: α_p coefficiente medio di assorbimento delle pareti laterali di area S_p (m^2), u (m^2) assorbimento acustico dovuto ad un tavolo, a_s (m^2) assorbimento acustico dovuto ad una sedia e μ (m^{-1}) coefficiente di estinzione dovuto all'aria. La sommatoria nella Eq. [8], con ovvio significato dei simboli, tiene conto dell'assorbimento acustico del pavimento, del soffitto, delle porte e del finestrato; ovviamente sarà: $S = S_p + \sum S_i$. Talvolta, per incrementare l'assorbimento acustico di un ambiente, vengono impiegati pannelli di varia forma sospesi al soffitto (noti anche come 'isole acustiche'), nella Eq. (8) con il termine p si è indicato l'assorbimento acustico di pannelli di questo tipo.

Dalle Eq. (3) e (6) si può scrivere:

$$(9) \quad \Delta L = 10 \log(1 + \phi^2) - 10 \log(N - 1)$$

che fornisce la differenza di livello tra il campo utile dovuto ad un singolo parlatore e quello riverberato prodotto da tutti gli altri parlatori. Si noti che ΔL non dipende dalla potenza di fonazione del singolo parlatore. Dalla Eq. (9) appare evidente che per aumentare ΔL occorre: diminuire r , diminuire N , aumentare r_0 e quindi aumentare H e Q . Ad esempio, in una data sala con N fissato (Q dato o comunque non modificabile) l'unico modo per aumentare ΔL è ridurre la distanza r tra il parlatore e i suoi ascoltatori seduti allo stesso tavolo; ovviamente al di sotto di un certo valore di r risulterà scomodo mantenere una normale conversazione.

Dalla Eq. (9) consegue che si ha $\Delta L = 0$ per:

$$r = r_c = \frac{r_0}{\sqrt{N - 2}}$$

con r_c distanza dal singolo parlatore alla quale il campo utile uguaglia quello riverberante dovuto a tutti gli altri parlatori.

Si indichi con ΔL_{min} la differenza minima richiesta tra il livello del suono utile e il livello del disturbo per avere una buona audizione in ciascun gruppo di conversazione; per la Eq. (4) a ΔL_{min} corrisponde un valore minimo (η_{min}) di η dato da:

$$\eta_{min} = 10^{\Delta L_{min}/10}$$

Con ciò per avere una chiara conversazione in ciascun tavolo dovrà essere soddisfatta la condizione:

$$(10) \quad \eta \geq \eta_{min}$$

Per $\eta < \eta_{min}$ in ciascun gruppo di conversazione l'audizione diviene difficoltosa, i parlatori per farsi meglio sentire sono istintivamente portati ad aumentare la potenza di fonazione con ciò aumenta notevolmente la densità del campo riverberante (proporzionale a $N-1$) ma il rapporto η rimane costante; la sala diviene rumorosa, le conversazioni ai vari tavoli avvengono con difficoltà e tutto ciò provoca un notevole fastidio alle persone presenti.

Dalle Eq. (6) e (10) consegue che per assicurare una buona audizione il numero di parlatori deve soddisfare la condizione: $N \leq N_{max}$, essendo:

$$(11) \quad N_{max} = 1 + \frac{1}{\eta_{min}} (1 + \phi^2)$$

Con ciò il numero massimo di persone che possono essere contemporaneamente presenti, soddisfacendo la condizione $\Delta L > \Delta L_{min}$, risulterà: $M_{max} = mN_{max}$. Per le Eq. (7) e (8) appare evidente che N_{max} cresce all'aumentare della superficie delle pareti S e del coefficiente medio globale di assorbimento acustico α ; per una sala, con data superficie in pianta, N_{max} aumenta al crescere dell'altezza del locale. Non si ha quindi alcuna convenienza ad impiegare nelle sale ristoranti controsoffitti che riducono in maniera significativa l'altezza del locale. Ad esempio, per una data sala (con S e V fissati) N_{max} cresce al diminuire del tempo di riverberazione θ di Sabine: $\theta = 0.16 \cdot V / (S\alpha)$. Ovviamente, in ogni caso, il rapporto tra l'area della superficie calpestabile della sala e M_{max} dovrà soddisfare le limitazioni imposte dalla normativa.

3. Osservazioni conclusive

E' stato proposto un semplice modello di calcolo per valutare, in sede di progetto, il comportamento acustico degli ambienti chiusi, in particolare sale ristoranti, con riferimento al *cocktail party effect*.

Il modello di calcolo proposto permette una stima cautelativa della situazione di comfort acustico e può risultare assai utile, in fase di progetto, per valutare gli effetti delle possibili correzioni acustiche da effettuare in una sala ristorante o più in generale negli ambienti dove è richiesto di riconoscere selettivamente un segnale proveniente da una sorgente sonora ignorando i segnali emessi da tutte le altre sorgenti presenti. In ogni caso, ovviamente, il progetto acustico effettuato utilizzando il metodo di calcolo proposto dovrà essere ulteriormente precisato con un software adeguato e verificato, in fase di realizzazione, con accurate misure in situ.

Gli Autori si propongono, in successivi lavori, di confrontare e discutere i risultati conseguiti con il modello di calcolo proposto con quelli ottenibili impiegando software di modellazione acustica disponibili in commercio ovvero misure in situ e valutando il grado di intelligibilità delle conversazioni che si svolgono ai vari tavoli con opportuni indici di qualità acustica delle sale.

4. Bibliografia

- [1] Cherry E.C., *Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears*, J. Acoust. Soc. Am., **25** (1953), pp.975-979.
- [2] MacLean W.R., *On the acoustics of cocktail parties*, J. Acoust. Soc. Am., **31** (1959), pp.79-80.
- [3] Leccese F., Tuoni G., Salvadori G., Rocca M., *An analytical model to evaluate the cocktail party effect in restaurant dining rooms: A case study*, Applied Acoustics, **100** (2015), pp.87-94.
- [4] Leccese F., Tuoni G., Silipo M., *Il "cocktail party effect" e l'acustica dei ristoranti - Un caso di studio*, in Atti del 34° Conv. Naz. Ass. It. Acustica, Firenze, 2007, CD-Rom, pp.1-7.
- [5] Kang J., *Numerical modelling of the speech intelligibility in dining spaces*, Applied Acoustics, **63** (2002), pp.1315-1333.
- [6] Conway A.R.A., Cowan N., Bunting M.F., *The cocktail party phenomenon revisited: the importance of working memory capacity*, Psychonomic Bulletin & Review, **8** (2001), pp.331-335.
- [7] Bronkhorst A.W., *The cocktail party phenomenon: a review of research on speech intelligibility in multiple-talker conditions*, Acta Acustica, **86** (2000), pp.117-128.
- [8] Girolami M., *A nonlinear model of binaural cocktail party effect*, Neurocomputing, **22** (1998), pp.201-215.
- [9] Aubin T., Jouventin P., *Cocktail party effect in king penguin colonies*, Proc. R. Soc. Lond., **265** (1998), pp.1665-1673.
- [10] Bodden M., *Modelling human sound source localization and the cocktail party effect*, Acta Acustica, **1** (1993), pp.43-55.