



n° 439 – 06 November 2025

[Ann NY Acad Sci 2025 Oct 30](#)

Embodied singing: dual role of interoception in vocal expertise and musical competence

Zamorano AM¹, Trusbak Haumann N¹, Ligato D¹, Maublanc P¹, Brattico E^{1,2}, Vuust P¹, Kleber B¹

1 Center for Music in the Brain, Department of Clinical Medicine, Aarhus University & The Royal Academy of Music Aarhus/Aalborg, Aarhus, Denmark; 2 Department of Education, Psychology, Communication, University of Bari, Bari, Italy

Musical expertise is often associated with heightened perceptual sensitivity to external sensory stimuli, yet its relationship with internal bodily awareness (interoception) remains elusive. This study examined whether interoceptive ability relates differentially to varying levels of singing expertise and investigated if interoception could predispose individuals to musical skills. Professional singers, amateur singers, and nonsingers completed a heartbeat discrimination task (interoceptive accuracy; IAcc), self-reported interoceptive sensibility assessment, and comprehensive musical competence measures. Results demonstrated a significant positive association between singing expertise and IAcc, which emerged only in professional singers, who significantly outperformed both amateur singers and nonsingers. Regression analyses indicated a moderate predictive role of accumulated singing practice for IAcc among trained singers, with exploratory mediation suggesting emotional awareness may partly account for this relationship. Critically, higher IAcc in nonsingers significantly correlated with superior singing accuracy, suggesting enhanced interoception may facilitate singing competence independently of formal vocal training. Altogether, these findings highlight a dual role of interoception, linking it to expert-level singing-partially mediated by emotional awareness-and independently to musical competence in nonsingers. These results reconcile prior inconsistencies by highlighting the embodied nature of singing and the distinct role of musical expertise, while underscoring inherent musically relevant mechanisms beyond practice alone.

La competenza musicale è spesso associata a una maggiore sensibilità percettiva agli stimoli sensoriali esterni, ma la sua relazione con la consapevolezza corporea interna (interocezione) rimane sfuggente. Questo studio ha esaminato se la capacità interocettiva sia correlata in modo differenziale a vari livelli di competenza nel canto e ha indagato se l'interocezione possa predisporre gli individui alle abilità

musicali. Cantanti professionisti, cantanti dilettanti e non cantanti hanno completato un compito di discriminazione del battito cardiaco (accuratezza interocettiva; IAcc), una valutazione della sensibilità interocettiva auto-riferita e misure complete di competenza musicale. I risultati hanno dimostrato una significativa associazione positiva tra competenza nel canto e IAcc, emersa solo nei cantanti professionisti, che hanno ottenuto risultati significativamente superiori sia ai cantanti dilettanti che ai non cantanti. Le analisi di regressione hanno indicato un moderato ruolo predittivo della pratica canora accumulata per l'IAcc tra i cantanti addestrati, con una mediazione esplorativa che suggerisce che la consapevolezza emotiva possa in parte spiegare questa relazione. È fondamentale sottolineare che una IAcc più elevata nei non cantanti era significativamente correlata a una maggiore accuratezza nel canto, suggerendo che una maggiore interocezione possa facilitare la competenza nel canto indipendentemente dall'addestramento vocale formale. Nel complesso, questi risultati evidenziano il duplice ruolo dell'interocezione, collegandola al canto di livello professionale, mediato in parte dalla consapevolezza emotiva, e, indipendentemente, alla competenza musicale nei non cantanti. Tali risultati conciliano inoltre le precedenti incongruenze, evidenziando la natura incarnata del canto e il ruolo distinto della competenza musicale, sottolineando al contempo i meccanismi intrinseci rilevanti dal punto di vista musicale che vanno oltre la semplice pratica.

Hum Brain Mapp 2025 Nov;46(16):e70379

From speech semantics to brain activity-timescales are key in their information transfer

Kumar S¹, Klar P^{2,3}, Çatal Y¹, Chang HJ¹, Pulvermüller F^{4,5}, Northoff G^{1,6}

1 Brain and Mind Research Institute, Centre for Neural Dynamics, Faculty of Medicine, The Royal's Institute of Mental Health Research & University of Ottawa, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada; 2 Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Institute of Experimental Psychology, Heinrich Heine University of Düsseldorf, Düsseldorf, Germany; 3 Institute of Neuroscience and Medicine, Brain & Behaviour (INM-7), Research Centre Jülich, Jülich, Germany; 4 Brain Language Laboratory, Department of Philosophy and Humanities, Freie Universität Berlin, Berlin, Germany; 5 Cluster of Excellence 'Matters of Activity. Image Space Material', Humboldt Universität zu Berlin, Berlin, Germany; 6 Institute of Mental Health Research, Royal Ottawa Hospital, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada

Fluctuating timescales are present in nature and are commonly observed in music, movies, brain activity, and speech. In human speech, semantic timescales span from single words to complete sentences and vary throughout conversation. Similarly, the brain's intrinsic neuronal timescales (INT), reflected in temporally correlated activity, carry information across time. How are these semantic and neuronal timescales related? Our combined semantic input and functional magnetic resonance imaging (fMRI) study using the 7 Tesla Human Connectome Project movie-watching dataset reveals information transfer from speech's semantic timescales to the brain's INT. We extracted two semantic time-series, sentence similarity and word depth, using Sentence-BERT (SBERT) and WordNet, respectively. The timescales of both semantic signals and the brain's activity were quantified using the autocorrelation window (ACW), with a dynamic, time-varying analysis approach. This allows testing for information transfer from the simultaneously varying semantic timescales to the brain's varying timescales via Transfer Entropy (TE). We report three main findings: (1) Sentence similarity and word depth time-series exhibit high and systematic fluctuations over time. (2) Dynamic ACW analysis captures the dominant timescales in both semantic input (sentence similarity and word depth) and the brain's continuously varying INT. (3) Significant TE from the varying semantic timescales to the brain's simultaneously varying INT. We also demonstrate that the information transfer only emerges on the level of timescales, and is absent when comparing the two raw semantic input time-series with the BOLD signal, respectively. Conclusively, we demonstrate the key role of timescales in the information transfer from semantic inputs to the brain's neural activity.

Le scale temporali fluttuanti sono presenti in natura e si osservano comunemente nella musica, nei film, nell'attività cerebrale e nel linguaggio. Nel linguaggio umano, le scale temporali semantiche spaziano dalle singole parole alle frasi complete e variano nel corso della conversazione. Allo stesso modo, le scale temporali neuronali intrinseche del cervello (INT), che si riflettono nell'attività correlata

temporalmente, trasportano informazioni nel tempo. In che modo sono correlate queste scale temporali semantiche e neurali? Lo studio combinato sull'input semantico e sulla risonanza magnetica funzionale (fMRI), che utilizza il dataset del progetto Human Connectome Project a 7 Tesla relativo alla visione di film, rivela il trasferimento di informazioni dalle scale temporali semantiche del linguaggio alle INT del cervello. Gli Autori hanno estratto due serie temporali semantiche, la similarità delle frasi e la profondità delle parole, utilizzando rispettivamente Sentence-BERT (SBERT) e WordNet. Le scale temporali sia dei segnali semantici che dell'attività cerebrale sono state quantificate utilizzando la finestra di autocorrelazione (ACW), con un approccio di analisi dinamico e variabile nel tempo. Ciò consente di testare il trasferimento di informazioni dalle scale temporali semantiche, che variano simultaneamente, alle scale temporali variabili del cervello tramite l'entropia di trasferimento (TE). Si registrano tre risultati principali: (1) La similarità delle frasi e la profondità delle parole nelle serie temporali mostrano fluttuazioni elevate e sistematiche nel tempo. (2) L'analisi dinamica ACW cattura le scale temporali dominanti sia nell'input semantico (similarità delle frasi e profondità delle parole) che nell'INT del cervello in continua variazione. (3) TE significativa dalle scale temporali semantiche variabili all'INT del cervello che varia simultaneamente. Gli Autori dimostrano inoltre che il trasferimento di informazioni emerge solo a livello di scale temporali ed è assente quando si confrontano le due serie temporali di input semantici grezzi con il segnale BOLD, rispettivamente. In conclusione, Gli Autori dimostrano il ruolo chiave delle scale temporali nel trasferimento di informazioni dagli input semantici all'attività neurale del cervello.

Front Neurosci 2025 Oct 7:19:1640674.

An electrophysiological investigation into 'Bagels': a song recorded to reduce subclinical anxiety in youth

Shepherd D^{#1}, Pedersen M^{#1}, Vashista G¹, Kercher A¹, Hautus MJ²

1 Psychophysiology Laboratory, Department of Psychology and Neuroscience, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand; 2 Psychophysics Laboratory, School of Psychology, University of Auckland, Auckland, New Zealand

Receptive Music Therapy allows individuals with sub-clinical anxiety levels to self-medicate when and where they choose, but the effectiveness of self-administered 'music medicine' to enhance psychological well-being is still being investigated. The current study reports on a song ('Bagels') designed to alleviate mild anxiety in adolescents and young adults. A laboratory study was conducted to examine the effect of Bagels on brain states, and upon both subjective and objective measures of state anxiety. Measures of skin conductance and heart rate (HR), and 64-channel Electroencephalography (EEG) were obtained from 30 young adults as they listened to six songs contrasting affective properties. Subjective measures included ratings of a song's pleasantness, arousal, dominance, and likability, as well as estimates of state anxiety obtained immediately after listening to them. Preliminary analyses revealed that the six songs differed significantly in terms of affective ratings, with Bagels rated as more pleasant and less arousing, and having lower state anxiety ratings at its terminus. EEG alpha connectivity was also lowest for the song Bagels, particularly in the brain's frontal lobes. Similarly, Bagels was associated with lower physiological arousal, reflecting less arousal and greater calmness. Combined, the analysis suggest that Bagels has the potential to be an effective digital anxiolytic. Discussion around the promise of music medicine and aspects of its management are presented, along with avenues of further inquiry.

La musicoterapia ricettiva consente alle persone con livelli di ansia subclinici di automedicarsi quando e dove preferiscono, ma l'efficacia della "musica come medicina" auto-somministrata per migliorare il benessere psicologico è ancora oggetto di studio. Il presente studio riporta i risultati relativi a una canzone ("Bagels") progettata per alleviare l'ansia lieve negli adolescenti e nei giovani adulti. È stato condotto uno studio di laboratorio per esaminare l'effetto di "Bagels" sugli stati cerebrali e sulle misure soggettive e oggettive dell'ansia di stato. Sono state ottenute misurazioni della conduttanza cutanea e della frequenza cardiaca (FC) e un elettroencefalogramma (EEG) a 64 canali da 30 giovani adulti mentre ascoltavano sei canzoni con proprietà affettive contrastanti. Le misurazioni soggettive includevano valutazioni della piacevolezza, dell'eccitazione, della dominanza e della simpatia di una canzone, nonché stime dell'ansia di stato ottenute immediatamente dopo l'ascolto. Le analisi preliminari hanno rivelato che le sei canzoni differivano in modo significativo in termini di valutazioni affettive, con "Bagels" valutata come più piacevole e meno eccitante, e con valutazioni di ansia più basse alla fine. Anche la

connettività alfa EEG era più bassa per la canzone “Bagels”, in particolare nei lobi frontali del cervello. Allo stesso modo, “Bagels” era associata a un minore eccitamento fisiologico, riflettendo un minore eccitamento e una maggiore calma. Nel complesso, l'analisi suggerisce che “Bagels” ha il potenziale per essere un efficace ansiolitico digitale. Vengono presentate discussioni sulle promesse della medicina musicale e sugli aspetti della sua gestione, insieme a possibili vie di ulteriore approfondimento.

Ann NY Acad Sci 2025 Oct 16

Unveiling the neural signature of group cohesion in music co-audition

Ding Y^{1,2}, Sun B³, Tang Y^{1,2}, Zhang D^{3,4}

1 Neuroimaging Core, Shanghai Mental Health Center, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai, China; 2 Shanghai Key Laboratory of Psychotic Disorders, Shanghai Mental Health Center, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai, China; 3 Department of Psychological and Cognitive Sciences, Tsinghua University, Beijing, China; 4 Tsinghua Laboratory of Brain and Intelligence, Tsinghua University, Beijing, China

Music serves as a universal medium for social bonding and emotional synchronization, yet the neural mechanisms underpinning these collective experiences remain elusive. This study examines how spatio-temporal music co-audition influences emotional convergence, social cohesion, and neural synchronization in group settings. Participants listened to music in groups while electroencephalography (EEG) data and continuous emotional ratings were collected, along with measures of social closeness. We found that spatio-temporal music co-audition significantly enhanced emotional convergence and reduced perceived social distance. Neural analysis identified an EEG signature localized to the right prefrontal region, where intersubject neural synchronization was stronger in within-group dyads than between-group dyads. Behavioral alignment correlated with this neural synchronization with a hierarchical relationship: fundamental emotional convergence provided the baseline for neural alignment, while interactions between aesthetic emotions and social closeness multiplicatively modulated synchronization. This neural signature emerged progressively during co-audition. These findings provide a neurobehavioral framework for understanding how shared musical experiences promote emotional and social alignment, driving interbrain synchrony. By delineating the neural dynamics of spatio-temporal music co-audition, this study offers theoretical insights into the neural basis of shared musical experiences, and practical insights for implications for music therapy, education, and performance that maximize emotional connection and social cohesion.

La musica funge da mezzo universale per creare legami sociali e sincronizzazione emotiva, ma i meccanismi neurali alla base di queste esperienze collettive rimangono ancora oscuri. Questo studio esamina come l'ascolto condiviso della musica in un contesto spazio-temporale influenzi la convergenza emotiva, la coesione sociale e la sincronizzazione neurale in contesti di gruppo. I partecipanti hanno ascoltato musica in gruppo mentre venivano raccolti dati elettroencefalografici (EEG) e valutazioni emotive continue, insieme a misure di vicinanza sociale. Gli Autori hanno scoperto che l'ascolto spaziale-temporale della musica ha migliorato significativamente la convergenza emotiva e ridotto la distanza sociale percepita. L'analisi neurale ha identificato una firma EEG localizzata nella regione prefrontale destra, dove la sincronizzazione neurale intersoggettiva era più forte nelle diadi all'interno del gruppo che nelle diadi tra i gruppi. L'allineamento comportamentale era correlato a questa sincronizzazione neurale con una relazione gerarchica: la convergenza emotiva fondamentale forniva la base per l'allineamento neurale, mentre le interazioni tra emozioni estetiche e vicinanza sociale modulavano in modo moltiplicativo la sincronizzazione. Tale firma neurale è emersa progressivamente durante l'ascolto condiviso. Questi risultati forniscono un quadro neurocomportamentale per comprendere come le esperienze musicali condivise promuovano l'allineamento emotivo e sociale, favorendo la sincronia intercerebrale. Delineando le dinamiche neurali dell'ascolto condiviso della musica nello spazio-tempo, lo studio offre approfondimenti teorici sulle basi neurali delle esperienze musicali condivise e approfondimenti pratici sulle implicazioni per la musicoterapia, l'educazione e l'esecuzione musicale che massimizzano la connessione emotiva e la coesione sociale.

The Pierfranco and Luisa Mariani Foundation

Since its beginnings in 1985, the Mariani Foundation has established itself as a leading organization in the field of paediatric neurology by organizing a variety of advanced courses, providing research grants, and supporting specialized care. The Foundation works in close cooperation with major public healthcare institutions, complementing their scientific programs and other activities. In 2009 it became the first private entity in Italy to join the founding members of the National Neurologic Institute "Carlo Besta" in Milan. In addition to its services, the Foundation aims, through its continuing medical education courses and publications, to spread knowledge in the field of paediatric neurology in order to help treat or alleviate a large number of paediatric neurologic disorders.

In the year 2000, the Mariani Foundation has added a new and important dimension to its activities: fostering the study of the multiple links between the neurosciences and music, including music education and early intervention. This significant commitment has inspired the series of "Neurosciences and Music" conferences, held in Venice (2002), Leipzig (2005), Montreal (2008), Edinburgh (2011), Dijon (2014), Boston (2017), Aarhus (2021) and Helsinki (2024). All these meetings have led to the publication of major volumes in the Annals of the New York Academy of Sciences.

"Neuromusic News"

Direttore responsabile Luisa Bonora

Pubblicazione periodica. Registrazione n. 318 Tribunale di Milano del 10-06-2011

Edited by Fondazione Mariani

Contributors: Luisa Lopez, Maria Majno and Barbara Bernardini

Editorial coordinator: Renata Brizzi

For further information: neuromusic@fondazione-mariani.org