

Development of advanced tools for modelling, prediction and mapping of environmental noise and sound perception

Environmental noise, particularly from road traffic, represents a pervasive global health hazard that profoundly impacts human well-being, cognitive function, and quality of life. While traditional noise assessment methodologies rely heavily on physical energetic indicators such as the A-weighted equivalent sound pressure level $L_{A,eq}$, these metrics often fail to capture the qualitative complexity of human auditory perception. This dissertation advances the field of environmental acoustics by adopting a dual-lens perspective that addresses the technical challenges of physical noise source modelling and the subjective complexity of soundscape appraisal. Crucially, both approaches are systematically investigated across their spatial and temporal dimensions, accounting for the spatial configuration of noise sources and the mapping of perceptions, as well as their dynamic evolution over time.

The first pillar of this research introduces a novel stochastic and microscopic road traffic noise model. Unlike conventional macroscopic models that treat traffic as a homogeneous line source by means of aggregated traffic inputs, the proposed framework simulates the kinematics of individual vehicles as discrete point sources. Specifically, by randomly assigning vehicle speeds from probability distributions, the model successfully preserves the inherent variability and transient fluctuations of real-world traffic. Methodological refinements explicitly target the spatio-temporal dimension: the spatial scale is refined through lane-specific disaggregation to enhance near-field accuracy, while the temporal evolution is captured via the integration of Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) time-series forecasting to predict noise levels in data-scarce scenarios. Rigorous validation against a long-term monitoring dataset confirms that each of these components, i.e., the stochastic core, the spatial disaggregation, and the temporal forecasting, significantly improves predictive accuracy, consistently reducing systematic errors compared to established macroscopic benchmarks.

The second pillar shifts the analytical lens from a physical approach to human perception by adopting the soundscape approach. In accordance with the ISO 12913 standard series, the study employs a mixed-methods methodology, integrating structured soundwalks and data from large-scale crowdsourcing campaigns, to capture the multidimensional nature of subjective experience within university campus areas. Using the Fisciano campus of the University of Salerno as a case study, the research introduces a geostatistical method using Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation to generate high-resolution pleasantness maps. This approach explicitly addresses both spatial and temporal dimensions: the spatial analysis is grounded in the correlation between perceptual data and a detailed map of functional zones, while the temporal dimension is investigated through the comparative analysis of datasets collected across different timeframes. These maps, alongside the temporal findings, offer an intuitive tool for urban planners, revealing how spatial morphology, functional land use, and temporal variations modulate the subjective experience of the acoustic environment.

Ultimately, this dissertation contributes a more nuanced framework for environmental noise assessment by providing parallel advancements in both physical modelling and perceptual appraisal. Rather than seeking an immediate synthesis, the developed tools represent essential bases that facilitate the future convergence of objective measurement and subjective experience. By strengthening these dual perspectives, this research provides a robust foundation for proactive urban planning and acoustic design, fostering healthier and sonically richer urban ecosystems.

Sviluppo di strumenti avanzati per la modellazione, la previsione e la mappatura del rumore ambientale e della percezione sonora

Il rumore ambientale, in particolare quello derivante dal traffico stradale, rappresenta un rischio pervasivo per la salute globale che incide profondamente sul benessere umano, sulle funzioni cognitive e sulla qualità della vita. Sebbene le metodologie tradizionali di valutazione del rumore si basino fortemente su indicatori energetici fisici, come il livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato "A" $L_{A,eq}$, tali metriche spesso non riescono a cogliere la complessità qualitativa della percezione uditiva umana. Questa dissertazione mira a far progredire il campo dell'acustica ambientale adottando una duplice prospettiva che affronta sia le sfide tecniche della modellazione fisica delle sorgenti di rumore, sia la complessità soggettiva della valutazione del paesaggio sonoro. Entrambi gli approcci sono indagati sistematicamente nelle loro dimensioni spaziali e temporali, tenendo conto della configurazione spaziale delle sorgenti di rumore e della mappatura delle percezioni, nonché della loro evoluzione dinamica nel tempo.

Il primo pilastro di questa ricerca introduce un innovativo modello stocastico e microscopico del rumore da traffico stradale. A differenza dei modelli macroscopici convenzionali, che trattano il traffico come una sorgente lineare omogenea mediante input di traffico aggregati, il modello proposto simula la cinematica dei singoli veicoli come sorgenti puntiformi discrete. Nello specifico, assegnando in modo casuale le velocità dei veicoli a partire da distribuzioni di probabilità, il modello riesce a preservare la variabilità intrinseca e le fluttuazioni transitorie del traffico reale. I perfezionamenti metodologici indagano esplicitamente la dimensione spazio-temporale: la scala spaziale viene affinata attraverso la disaggregazione per singola corsia per migliorare l'accuratezza nel campo vicino, mentre l'evoluzione temporale è studiata tramite l'integrazione della previsione di serie temporali SARIMA (*Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average*) per stimare i livelli di rumore in scenari caratterizzati da scarsità di dati. Una rigorosa validazione rispetto a un dataset di monitoraggio a lungo termine conferma che ciascuna di queste componenti, ovvero il modello stocastico, la sua disaggregazione spaziale e l'integrazione con modelli di analisi delle serie storiche, migliora significativamente l'accuratezza predittiva, riducendo in modo consistente gli errori sistematici rispetto ai benchmark macroscopici consolidati.

Il secondo pilastro sposta la lente analitica da un approccio fisico alla percezione umana, adottando l'approccio del paesaggio sonoro. In conformità con la serie di standard ISO 12913, lo studio impiega una metodologia che prevede l'utilizzo di diversi metodi, integrando passeggiate sonore strutturate e dati provenienti da ampie campagne di crowdsourcing, per catturare la natura multidimensionale dell'esperienza soggettiva all'interno delle aree dei campus universitari. Utilizzando il campus di Fisciano dell'Università di Salerno come caso di studio, la ricerca introduce un metodo geostatistico che utilizza l'interpolazione IDW (*Inverse Distance Weighting*) per generare mappe di piacevolezza ad alta risoluzione. Anche in questo caso, sia la dimensione spaziale che quella temporale sono state esplicitamente indagate: l'analisi spaziale si fonda sulla correlazione tra i dati percettivi e una mappa dettagliata delle zone funzionali, mentre la dimensione temporale è esaminata attraverso l'analisi comparativa di dataset raccolti in archi temporali differenti. Queste mappe, insieme a tali risultati temporali, offrono uno strumento intuitivo per i pianificatori urbani, rivelando come la morfologia spaziale, l'uso funzionale del suolo e le variazioni temporali modulino l'esperienza soggettiva dell'ambiente acustico.

In definitiva, questa dissertazione contribuisce a delineare una panoramica più articolata per la valutazione del rumore ambientale, fornendo progressi paralleli sia nella modellazione fisica che nella valutazione percettiva. Piuttosto che ricercare una sintesi immediata, gli strumenti sviluppati rappresentano basi essenziali che mirano a facilitare la futura convergenza tra misurazione obiettiva ed esperienza soggettiva. Rafforzando queste due prospettive, questa ricerca fornisce una solida base per una pianificazione urbana e una progettazione acustica proattive, favorendo ecosistemi urbani più sani e acusticamente più ricchi.