

## **SIMULAZIONE IN AMBIENTE GIS DELL'INQUINAMENTO ACUSTICO DELL'AUTODROMO DI PERGUSA**

Antonio CONDORELLI (\*), Antonio GAGLIANO (\*\*),  
Giuseppe MUSSUMECI (\*), Petronilla INGUÌ

(\* ) Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

(\*\*) Dipartimento di Ingegneria Industriale Meccanica, Università di Catania, Facoltà di Ingegneria  
V.le A.Doria 6, 95125 Catania, fax 095/7382247, e-mail: HUAcondor@dica.unict.itUH;

HUagagliano@diim.unict.itUH, HUmussume@dica.unict.itUH - tel. 095/7382212 095/7382225

### **Sommario**

In questo lavoro si presenta la sperimentazione di una simulazione effettuata mediante software GIS dell'inquinamento acustico generato da una gara automobilistica nei pressi di un autodromo.

In particolare, la simulazione è stata sviluppata in un'area prossima all'autodromo di Pergusa, dove, oltre al problema dell'impatto acustico sul vicino centro abitato, si ha anche la presenza della riserva del lago omonimo, all'interno del circuito.

La simulazione è stata eseguita sfruttando diversi strumenti di calcolo propri dell'ambiente GIS, suddividendo l'area di studio in apposite micro celle (con un approccio GRID) ed il circuito automobilistico in tanti piccoli tratti, ognuno dei quali viene considerato come una sorgente lineare di rumore. Mediante apposite modellazioni, è stato possibile determinare il livello di pressione sonora generato durante una gara da ogni singolo tratto e, dunque, "sommare" cella per cella gli effetti dovuti ai vari segmenti di pista. Il risultato di tali elaborazioni consiste in una cartografia tematica dell'area in prossimità del circuito, in cui si evidenziano le variazioni del livello di pressione sonora generata dalle vetture durante lo svolgimento di una gara.

### **Abstract**

In this study, we introduce an experimental simulation, obtained using a GIS software, about noise pollution created by cars during a race in a motor racing circuit, upon near zones.

Particularly, simulation has been developed in the case of Pergusa's motor racing circuit, where behind the problem of noise pollution on the near urban centre, the presence of Pergusa's lake reserve (in the area of the circuit) must be considered.

The simulation has been carried out by various GIS functions, subdividing the area of study in cells of a grid and the track in many short sections that are all considered as single linear noise sources. Using models it has been possible to evaluate the level of the sound power generated during a racing event by each section, and then to evaluate, cell by cell in the grid, the sum of the effect due to each section. Using this procedure, it is obtained a thematic map about the variation of the sound power generated by cars during the race in the area near to the track.

### **1. Introduzione**

Il fenomeno dell'inquinamento acustico e delle problematiche ad esso connesse ha assunto negli ultimi anni dimensioni sempre più preoccupanti, non solo negli ambienti urbani densamente popolati e con elevati flussi di traffico veicolare, ma anche in corrispondenza di infrastrutture particolari (zone industriali, aeroporti, autodromi, ecc.) in cui le stesse attività producono inevitabilmente elevati livelli di pressione sonora.

Per fare fronte a queste difficoltà e tutelare la salute ed il benessere dell'uomo, in Italia è stato da anni varato un articolato quadro normativo, che prevede la classificazione del territorio in zone all'interno delle quali non dovrebbero essere superati determinati limiti (diurni e notturni) imposti per il rumore ambientale. L'esperienza degli ultimi anni ha tuttavia ampiamente evidenziato un notevole ritardo delle

pubbliche amministrazioni nell'applicare le disposizioni legislative in materia, anche a causa delle difficoltà insite nell'acquisizione e gestione dell'informazione geografica necessaria. Particolarmente onerose risultano infatti le campagne di rilevamento dati, che richiedono costi consistenti e tempi di realizzazione piuttosto lunghi e necessitano di continue verifiche ed aggiornamenti.

Per questa ragione esistono oggi veri e propri ambienti software specialistici, che permettono di simulare i livelli di pressione sonora una volta note le sorgenti di generazione ed il contesto territoriale e morfologico di riferimento, evitando (o limitando) le suddette campagne di rilevamento acustico. Tali software, tuttavia, hanno il limite di non prevedere la possibilità di georeferenziare l'informazione acustica valutata.

Per questa ragione si è ritenuto utile sperimentare la possibilità di implementare le modellazioni di simulazione acustica in ambiente GIS, consentendo la gestione del dato elaborato con un approccio nativamente georeferenziato. I risultati che si presentano sono relativi ad un'esperienza condotta in un'area di studio di particolare pregio direttamente interessata dalla sede dell'autodromo nazionale di Pergusa. In particolare si intende determinare il livello di pressione sonora che si genera nella Riserva istituita nel lago all'interno dell'autodromo e nelle aree limitrofe a causa dello svolgimento di una gara automobilistica sulla pista circostante.

## 2. Modello di simulazione acustica

Il modello di simulazione implementato è stato applicato suddividendo il circuito che circonda il lago di Pergusa in 50 tratti di lunghezza pari a circa 100 metri ciascuno. In tal modo si ottengono diversi tratti (assimilabili a rettilinei) ognuno dei quali rappresenta una sorgente lineare di rumore per cui, vista la ridotta estensione, è lecito ipotizzare condizioni omogenee. L'area di studio (interna ed esterna al circuito) è stata suddivisa in celle quadrate di lato 100x100 metri, per ognuna delle quali si intende valutare il livello equivalente di pressione sonora.

La suddivisione del circuito in più tratti-sorgente consente di determinare per ogni ricevitore (cioè per ogni cella) il livello di pressione sonora dovuto ad ogni singolo tratto e, successivamente, il livello di pressione sonora totale, prodotto dalla sommatoria dei contributi di tutti i tratti costituenti il circuito.

La formulazione adottata (valida nel caso in cui la sorgente sonora è di tipo lineare per il calcolo del livello di pressione sonora in corrispondenza del ricevitore), è la seguente:

$$L_p = L_w + 10 \text{Log}_{10} \left( \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{r_0} d \right) - 8 - Att \quad [1]$$

dove  $L_p$  è il valore del livello di pressione sonora in corrispondenza del ricevitore;  $L_w$  è il livello di potenza sonora per unità di lunghezza della sorgente lineare;  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono gli angoli entro i quali viene vista la sorgente lineare;  $r_0$  è la distanza misurata ortogonalmente alla direzione del tratto in considerazione;  $d$  è la lunghezza della sorgente lineare che, viste le ipotesi fatte, è pari a 100 m;  $Att$  è un termine che rappresenta le eventuali attenuazioni presenti. Nell'ambito del presente lavoro, per semplicità di implementazione, si è scelto di trascurare le attenuazioni per cui viene posto  $Att = 0$ . In figura 1 è riportata la schematizzazione geometrica del modello di calcolo adottato.

Il livello di potenza sonora per unità di lunghezza della sorgente lineare è stato calcolato tramite la seguente relazione:

$$L_w = L_{w,0} + 10 \log_{10} \left( \frac{Q}{V} \right) \quad [2]$$

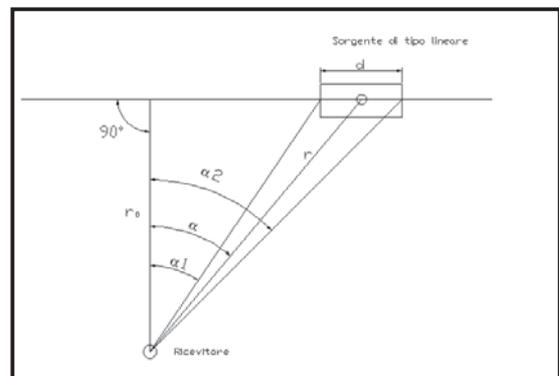


Figura 1 – Elementi geometrici che determinano la posizione di un ricevitore rispetto ad una sorgente lineare

dove  $L_{W,0}$  è il livello di potenza sonora istantaneo relativo al singolo veicolo;  $Q$  è il flusso di veicoli che percorre il circuito, ipotizzato regolare e misurato in [veic/s];  $V$  è la velocità media dei veicoli misurata in [m/s].

A seconda del tipo di competizione considerata, si fissano i valori di  $L_{W,0}$ ,  $Q$ , e  $V$  e si determina mediante la [2] il livello di potenza sonora lineare per unità di lunghezza  $L_W$  [dB/m]. Tale procedura consente di determinare in funzione del livello di potenza sonora istantaneo del singolo veicolo che percorre il tratto considerato, il livello di potenza sonora per unità di lunghezza della sorgente lineare considerata per ciascuna tipologia di veicoli (caratterizzati da  $L_{W,0}$ ) e per ciascuna velocità media. Nell'applicazione del modello si è ipotizzato un flusso di veicoli a velocità uniforme e costante, condizione chiaramente non del tutto realistica con riferimento alle dinamiche di una competizione, ma che dovrebbe comportare un livello di approssimazione certamente trascurabile per gli scopi del presente lavoro. Secondo le scelte adottate, il livello di potenza sonora lineare  $L_W$  determinato mediante la [2] risulta dunque uguale per ogni tratto in cui viene suddiviso il circuito.

Utilizzando un doppio sistema di indici si possono identificare rispettivamente i tratti e i ricettori:

- $i = 1, 2, 3, \dots, n$  indica il singolo punto-ricettore;
- $j = 1, 2, 3, \dots, 50$  indica il singolo tratto in cui è suddiviso il circuito.

Per il calcolo del livello di pressione sonora totale nel punto-ricevitore  $i$ , dovuto agli  $n$  tratti di sorgente  $j$ , si esegue la somma logaritmica:

$$L_{p,i} = 10 \text{Log} \left( \sum_j 10^{L_{p,j}/10} \right) \quad \text{per } j = 1, 2, 3, \dots, 50 \quad [3]$$

### 3. Implementazione del modello in ambiente GIS

L'implementazione del modello in ambiente GIS è avvenuta nell'ambito delle funzionalità del pacchetto *ESRI ArcGIS 9.2*; la base dati cartografica utilizzata è la Carta Tecnica Regionale in formato raster, alla scala 1:10000, georeferenziata rispetto al sistema di riferimento Gauss-Boaga.

Come anticipato precedentemente, si è fatto ricorso alla modellazione GRID dell'area di studio mediante l'estensione *Spatial Analyst*, utilizzando celle di dimensioni di 100x100 metri. Il circuito, invece, è stato modellato utilizzando strutture dati di tipo vettoriali, segmentando il tracciato nei suddetti 50 tronchi lineari, lunghi circa 100 metri. Ciascun tronco, che dal punto di vista della modellazione acustica rappresenta una sorgente, è stato successivamente ricondotto ad un ulteriore modello dati vettoriale semplificato, basato sulla dislocazione di un elemento puntuale baricentrico. Per rendere più agevoli alcuni passaggi relativi al calcolo delle grandezze geometriche caratteristiche sono stati elaborati 50 distinti layers vettoriali, contenenti ciascuno un differente punto relativo a ciascun tronco. Per analoghe ragioni, è stata necessaria anche la creazione di altri 50 layers vettoriali, contenenti ciascuno una distinta retta tangente ad ogni tratto sorgente.

Le funzionalità di elaborazione proprie dell'ambiente GIS vengono sfruttate per la valutazione delle grandezze geometriche necessarie al calcolo del livello di pressione sonora secondo la relazione [1]. In particolare, è possibile calcolare le distanze  $rij$  di ogni singola cella  $i$  del GRID dell'area di studio da ogni singolo punto sorgente  $j$ , utilizzando la funzione *Distance > Straight line* dello *Spatial Analyst*. Evidentemente, la procedura di calcolo va ripetuta per ciascuna differente sorgente ed il risultato di ogni elaborazione consiste in un nuovo GRID in cui il valore di ogni cella rappresenta la distanza geometrica della stessa dalla sorgente considerata. Alla fine delle elaborazioni si ottengono dunque 50 nuovi GRID: *distanze\_rij* con  $j = 1, 2, \dots, 50$ .

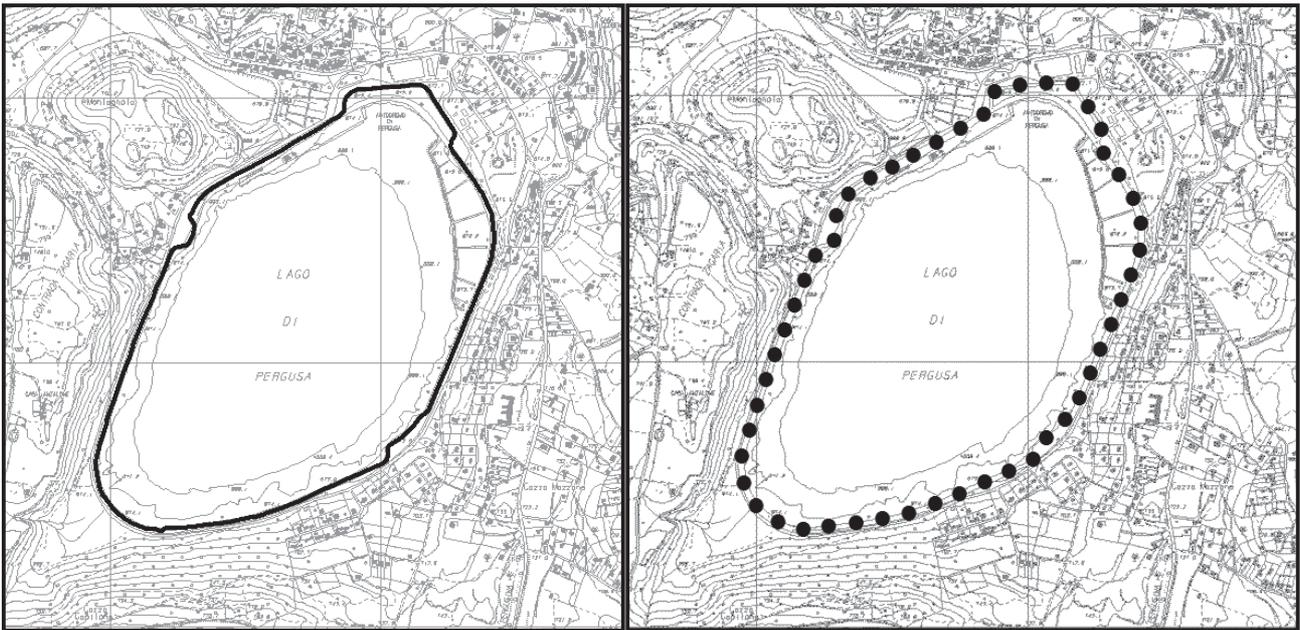


Figura 2 – Segmentazione dell'autodromo di Pergusa (Provincia di Enna) in tratti lineari sorgente e corrispondenti punti medi

Si continua con un procedimento analogo per il calcolo delle distanze  $r_{0ij}$  delle singole celle dalle rette tangenti ai tratti sorgente. Si ottengono in questo modo altri 50 GRID ( $r_{0ij}$  con  $j = 1, 2, \dots, 50$ ). L'unico accorgimento necessario nel calcolo delle distanze  $r_{0ij}$  rispetto alle  $r_{ij}$  consiste nell'ampliare un po' la maschera di analisi (l'area coperta dalle tangenti e dalle congiungenti ortogonali di ciascuna cella è maggiore rispetto alla precedente).

Note le distanze  $r_{ij}$  e  $r_{0ij}$ , è ora possibile calcolare gli angoli  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  mediante formule trigonometriche opportunamente implementate mediante la funzione *Raster Calculator*: tali elaborazioni conducono alla creazione di 100 GRID (uno per ogni  $\alpha_{1ij}$  con  $j = 1, 2, \dots, 50$  e uno per ogni  $\alpha_{2ij}$  con  $j = 1, 2, \dots, 50$ ).

Potendo a questo punto disporre delle distanze  $r_{ij}$  e  $r_{0ij}$  e degli angoli  $\alpha_{1ij}$  e  $\alpha_{2ij}$ , applicando la [1] mediante il *Raster Calculator*, è finalmente possibile procedere al calcolo dei livelli di pressione sonora  $L_{p_{ij}}$  che, per ogni cella  $i$ , sono dovuti al singolo tratto sorgente  $j$ . Si ottengono dunque ulteriori 50 GRID  $L_{p_{ij}}$ , ognuno dei quali riporta per ogni cella il livello di pressione sonora dovuto al singolo tratto sorgente  $j$ . Per le elaborazioni è stato assunto quanto segue:

- $$L_W = L_{W,0} + 10 \log_{10} \left( \frac{Q}{V} \right) = 110 + 10 \log_{10} \left( \frac{0.16666}{41,66} \right) \cong 86.00 \text{ dB A}$$

ipotesi corrispondente ad una gara generica caratterizzata da auto con livello di potenza sonora  $L_w = 110$  dBA, velocità di 150 km/h e da un flusso di veicoli  $Q$  che interessa il circuito di 0.16666 veic/s (tale valore di  $Q$  nasce dall'aver supposto che alla gara partecipino 20 autovetture che percorrono il circuito ad una velocità media di 150 Km/h);

- $d = 100$  m in quanto ogni tratto è lungo circa 100 metri;
- $Att_{ij} = 0$  trascurando per semplicità eventuali attenuazioni.

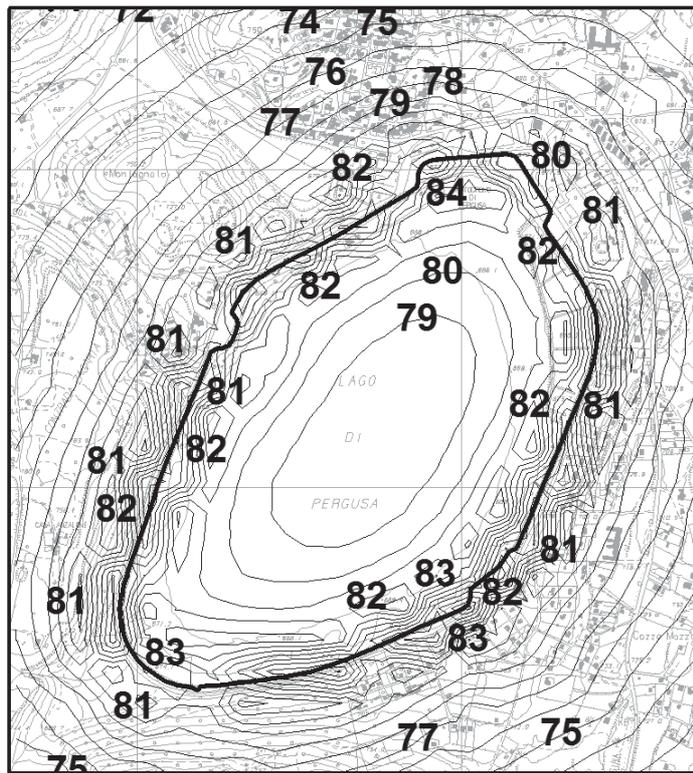
Si verifica tuttavia che i GRID  $L_{p_{ij}}$  così ottenuti contengano al proprio interno alcune celle prive di valore (no data), ovvero tutte quelle celle per le quali il software non è riuscito a ricavare un valore valido. Tale inconveniente si riscontra in corrispondenza delle celle più vicine al tratto sorgente e alla tangente rispetto a cui le distanze  $r_{ij}$  e  $r_{0ij}$  vengono calcolate; infatti, in dette celle (che si intersecano con l'elemento lineare della pista preso in considerazione) tali distanze vengono poste dal software pari a zero e, di conseguenza, non è possibile calcolare angoli  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  validi.

Per ovviare a tale problema si è imposto sulle celle suddette un valore pari alla media dei valori delle celle più vicine, ottenendo in tal modo che il successivo calcolo del livello di pressione sonora cumulato possa produrre un valore numerico finito e non un ulteriore “no data”. Tale scelta provoca una leggera sottostima dei valori di pressione sonora in prossimità della pista, in quanto nella somma tutte le celle sulle quali non è stato possibile effettuare il calcolo forniscono un contributo leggermente inferiore a quello reale (dette celle dovrebbero essere quelle che forniscono il maggiore apporto, essendo le più vicine al tratto sorgente considerato). L'effetto di detta sottostima è tuttavia relativamente ridotto, in quanto riguarda, per ciascuno dei 50 GRID  $Lp_{ij}$ , esclusivamente le poche celle che si intersecano direttamente con la sorgente considerata. Si potrebbe inoltre pensare di migliorare ulteriormente l'applicazione, riducendo la dimensione delle celle: in tal modo, a fronte di un maggiore onere di calcolo, si otterrebbe un risultato di maggior dettaglio, in cui la problematica delle celle non calcolabili verrebbe ristretta ad una fascia più sottile prossima alle sorgenti.

Per imporre il valore desiderato sulle celle non calcolabili si è fatto uso della funzionalità *mosaic*, combinando ognuno dei 50 GRID  $Lp_{ij}$  con un GRID appositamente creato in cui tutte le celle hanno il valore che occorre; i nuovi GRID  $Lp_{ij}$  che scaturiscono hanno per ogni cella il massimo tra i valori sovrapposti e sono dunque privi di celle di tipo “no data”.

Ultimati i procedimenti descritti sopra, è infine possibile valutare il livello di pressione sonora che insiste su ogni cella a causa della gara, cumulando gli effetti dovuti ad ogni singolo tratto sorgente applicando la formula [3] mediante la funzione *Raster Calculator* ed utilizzando i 50 GRID  $Lp_{ij}$  “corretti” dai “no data”. Il risultato di detta elaborazione consiste in un ulteriore GRID  $Lp_i$  in cui ad ogni cella è associato il valore del livello di pressione sonora complessivo dovuto ad una gara automobilistica del tipo già descritto che si svolge lungo il circuito di Pergusa. In figura 3 il risultato dalle valutazioni effettuate viene visualizzato in una apposita carta tematica anche tramite l'ausilio di curve ad uguale livello di pressione sonora, che mostrano come la stessa diminuisca man mano che ci si allontana dal circuito sia verso la zona interna che la zona esterna. L'andamento irregolare in prossimità della pista è dovuto all'approssimazione introdotta nel modello ed ai limiti del calcolo effettuato dal software di cui si è già discusso in precedenza.

Confrontando i valori di livello di pressione sonora ricavati mediante le elaborazioni in ambiente GIS con i valori ottenuti sotto le stesse ipotesi con altri ambienti software si osserva che essi sono sostanzialmente comparabili, pur riscontrando una sottostima, dell'ordine di 1,0-2,0 dBA, con riferimento ai massimi valori di SPL. Tali differenze, come già osservato, sono da attribuirsi all'approssimazione introdotta nel modello per le celle in prossimità della pista già descritta precedentemente.



**Legenda**

— isolinee (valori in dB)  
 ————— circuito motoristico

0 62.5 125 250 375 500  
 Metri



Figura 3 – Andamento del livello di pressione sonora dovuto ad una gara automobilistica

**4. Conclusioni**

Nel presente lavoro si propone una metodologia per simulare in ambiente GIS la propagazione del rumore in ambiente con orografia complessa (in termini di pressione sonora) generato da una gara automobilistica. La metodologia si basa sulla implementazione nel GIS di una complessa modellazione analitica che, in funzione delle caratteristiche di emissione sonora delle sorgenti e della loro effettiva disposizione nello spazio, consente di ottenere curve isofoniche rappresentative del clima acustico outdoor. Nella fattispecie, l'applicazione è stata effettuata sull'autodromo di Pergusa, il cui circuito è stato suddiviso in tratti di lunghezza ridotta ognuno dei quali è stato considerato come una sorgente di tipo lineare. Il territorio circostante è stato invece suddiviso in celle (ricettori), per ognuna delle quali sono state opportunamente valutate tutte le grandezze d'interesse. L'applicazione di tale algoritmo in ambiente GIS, sia pur con le approssimazioni derivanti dalla modesta risoluzione spaziale, è

risultata affidabile e particolarmente vantaggiosa. Infatti, in tale maniera si dispone di un database che consente di gestire, aggiornare e/o modificare tutti i dati d'interesse e di elaborarli con un approccio direttamente georeferenziato, con il risultato di poter produrre cartografie tematiche che forniscono informazioni di grande utilità relativamente alle variazioni spaziali delle grandezze elaborate.

Futuri sviluppi prevedono l'implementazione di maggiori informazioni sulle caratteristiche di emissione delle sorgenti, dell'orografia dei luoghi e il calcolo delle attenuazioni lungo il percorso sorgente-ricevitore.

**Bibliografia**

Cyril M. Harris. (1989) "Manuale di controllo del rumore". Tecniche Nuove Milano  
 Baistocchi C., Rocco L. (2001) "A calculation Model of Height and Length of Traffic Noise Barriers". Internoise 2001 –The Hague The Netherlands  
 Spagnolo R. (2001). Manuale di acustica. UTET Torino  
 Mussumeci G., Condorelli A., Scandura S., (2003) "Analisi e rappresentazione in un GIS della sensibilità di una strada urbana all'inquinamento acustico" – 3a Conferenza Nazionale su Informatica e Pianificazione Urbana e Territoriale, INPUT 2003 - Pisa, 5-7 giugno 2003  
 Mussumeci G., Condorelli A., Patania F., Gagliano A., Pernicone S. – (2005) "Proposta metodologica per la zonizzazione acustica in ambiente GIS" - 4a Conferenza Nazionale su Informatica e Pianificazione Urbana e Territoriale, INPUT 2005 - Alghero, 14-17 settembre 2005  
 Inguì P. (2007). "Indagine conoscitiva sul clima acustico della Riserva di Pergusa" - Tesi di laurea in Ingegneria per l'ambiente ed il territorio, Università degli studi di Catania.