

WATER SOUND DESIGN - I SUONI DELL'ACQUA NELLA PROGETTAZIONE DEL PAESAGGIO SONORO URBANO E NATURALE

Carlo Alessandro Bertetti (1), Marco Falossi (1), Marco Masoero (2), Carolina Roggero (2)

(1) Studio Progetto Ambiente srl Società di Ingegneria, Torino

(2) Politecnico di Torino, Torino

1. Premessa

E' opinione ormai largamente condivisa che la qualità acustica dell'ambiente esterno debba essere perseguita non solo attraverso la riduzione dei livelli di rumore nelle aree compromesse, ma anche preservando le aree caratterizzate ad un'elevata qualità ambientale. La Direttiva 2002/49/CE introduce in effetti il concetto di "area silenziosa" e pone fra i propri obiettivi la loro tutela. Numerose sono le conseguenze di questo mutato atteggiamento culturale: nei piani di monitoraggio acustico di cantieri ed opere, ad esempio, si presta una crescente attenzione alle aree naturali [1]; alcune amministrazioni locali, anche attraverso l'azione delle ARPA, hanno promosso studi e piani di intervento sul tema [2]; più in generale, nella letteratura e nei congressi del settore il tema "*Soundscapes*" trova uno spazio sempre più significativo. Tutti questi fatti denotano la consapevolezza di come la qualità dell'ambiente derivi anche dalla presenza di componenti acustiche riconoscibili, associate ad aspetti caratteristici dell'ecosistema naturale o delle comunità antropiche che nel territorio abitano ed operano [3].

Fra gli elementi distintivi del paesaggio sonoro, l'acqua riveste un ruolo di particolare significato: fontane e corsi d'acqua, a fini funzionali o puramente decorativi, sono stati usati dall'uomo da millenni. Le sonorità dell'acqua hanno un immenso potenziale evocativo e una grande possibilità di differenziazione del proprio carattere in termine di volume, di altezza, di timbro e di ritmo. Ogni fontana, canale, vasca o zampillo può parlare un proprio linguaggio in funzione di parametri progettuali studiati per organizzare i suoni prodotti: coloriture tonali variabili a seconda delle superfici e materiali su cui batte l'acqua, alternanze che seguono il ritmo della respirazione, volume modulato dalla portata e dalla tipologia di getto.

Peraltro, la progettazione di fontane ornamentali o installazioni da giardino che fanno uso dell'acqua è affrontata dagli architetti essenzialmente in termini visivi ed estetici [4] senza una specifica conoscenza delle implicazioni acustiche delle scelte progettuali. Le esperienze di ascolto di suoni d'acqua, naturali e artificiali, di differenti origini, permettono tuttavia di riscontrare ampie differenziazioni psicoacustiche, estetiche, semantiche, emozionali, ecc.[5]: ogni fontana o corso d'acqua parla in sostanza un proprio linguaggio che, se riconosciuto, può diventare un elemento in grado di guidare la progettualità.

La progettazione e "accordatura" sonora di fontane, vasche, giochi d'acqua, a corredo della progettazione architettonica e paesaggistica interna e esterna agli edifici, ed il loro corretto inserimento nel paesaggio sonoro locale in funzione del rapporto segnale/rumore dell'area ospitante, permettono di ottenere suoni in sintonia con i luoghi, con la fruizione delle aree circostanti e di regalare complesse suggestioni acustiche. Tuttavia, mancano ad oggi indicazioni precise su come ottenere tali risultati, al di là di quanto suggerito dall'esperienza, attraverso l'applicazione rigorosa dei metodi dell'acustica

2. Obiettivi e metodi della ricerca

Questa ricerca è stata, per quanto riguarda l'esperienza pregressa degli autori, un primo passo nel cercare di definire un approccio sistematico al "Water Sound Design", attraverso il seguente percorso d'indagine:

- individuazione di un campione rappresentativo di sorgenti naturali ed artificiali da analizzare sperimentalmente;
- elaborazione delle registrazioni acustiche con tecniche di analisi del segnale per ricavare opportuni descrittori fisici;
- definizione di indici psicoacustici idonei a descrivere le caratteristiche percettive del suono emesso dalle sorgenti d'acqua;
- indagine attraverso test di ascolto sulla correlazione tra risposta soggettiva e descrittori fisici.

Nella fase iniziale della ricerca è stata effettuata una serie di campionamenti audio di suoni d'acqua naturali (cascate) e artificiali (fontane, canali) di varie tipologie, al fine di individuare le caratteristiche acustiche fondamentali nel dominio del tempo e della frequenza. La loro analisi ha permesso di tracciare un quadro generale di riferimento da applicare ad un caso studio più complesso, che ha avuto come oggetto la recente Fontana del Cervo, realizzata nell'ambito dei lavori di restauro della Reggia di Venaria Reale. L'indagine ha permesso di rilevare, in condizioni controllate, le caratteristiche visive e acustiche di svariate coreografie statiche e dinamiche. All'analisi delle registrazioni è seguita la selezione di dieci tracce audio (tre relative alle prime tre sorgenti indagate e sette riferite a diverse condizioni di funzionamento della Fontana del Cervo) che costituiscono il campione sottoposto ad un panel di ascoltatori addestrati. A supporto dei test di ascolto è stato sviluppato un questionario finalizzato alla valutazione soggettiva dei campioni in termini di descrittori psicoacustici quali volume, altezza, timbro, direzionalità e gradevolezza complessiva del suono.

3. Campionamento di suoni d'acqua naturali e artificiali

L'indagine preliminare è stata svolta su un campione variegato di situazioni, comprendenti sia forme d'acqua naturali, sia giochi d'acqua artificiali di vario tipo. Delle dieci situazioni inizialmente analizzate e per le quali sono stati svolti i campionamenti audio, ne sono state esaminate in dettaglio tre, una per tipologia (v. Fig. 1):

- Tipologia a scorrimento: Cascata del Vermenagna a Limonetto, Limone Piemonte (CN). Si tratta di una cascata naturale, inserita in un contesto silenzioso ed abbastanza riverberante,
- Tipologia a getto: Fontana del Borgo Medievale nel Parco del Valentino, Torino. La fontana comprende quattro a getti a flusso laminare di diametro 1 cm, con portata pari a 0,135 L/s; l'altezza di caduta dell'acqua è pari a 92 cm, più 65 cm di profondità della vasca. La fontana è situata in un cortile chiuso sui quattro lati.
- Tipologia a corso d'acqua: Catena d'acqua a Laux, Fenestrelle. E' costituita da 37 scalini di lunghezza 75 cm e salto 8,5 cm, per una lunghezza complessiva di circa 28 m; l'ambiente edificato circostante è piuttosto chiassoso e riverberante.

Per i campionamenti ci si è serviti del registratore digitale portatile PCM-D50 della Sony. Si tratta di un registratore lineare a 96 kHz/24 bit, che registra in formato file .WAV, superando la qualità dell'audio DAT standard. Esso è dotato di un microfono stereo integrato, del tipo a condensatore, con rotazione flessibile nelle posizioni stereo X-Y o Wide. Lo strumento prevede inoltre, tra gli accessori, un telecomando di controllo che permette l'avvio e la sospensione della registrazione senza inquinare il dato audio. Per tutte le rilevazioni il registratore è stato fissato ad un treppiede di altezza 1,2 m ed i microfoni sono stati protetti da un apposito schermo antivento.



Fig. 1 – Da sinistra: Cascata del Vermenagna a Limonetto, Fontana del Borgo Medievale a Torino, Catena d’acqua a Laux

4. La Fontana del Cervo di Venaria Reale

Il progetto della Fontana del Cervo (Figura 2) propone le suggestioni dei giochi d’acqua rinascimentali unite alla tecnologia delle moderne fontane sequenziali. Lungo il perimetro esterno della vasca è creata un’ampia zona di rispetto, di forma circolare, costituita da una doppia corona di lastre di pietra. Una seconda corona in lastre di pietra, di forma ellittica molto più ampia della prima, circonda l’antica Fontana del Cervo e definisce il perimetro della nuova fontana. L’asse maggiore misura 47 m, l’asse minore 37 metri. Il disegno illustra una suddivisione dell’ellisse in 192 lastre di pietra sagomate, sotto le quali sono alloggiati gli ugelli ed il relativo sistema di illuminazione scenografica.

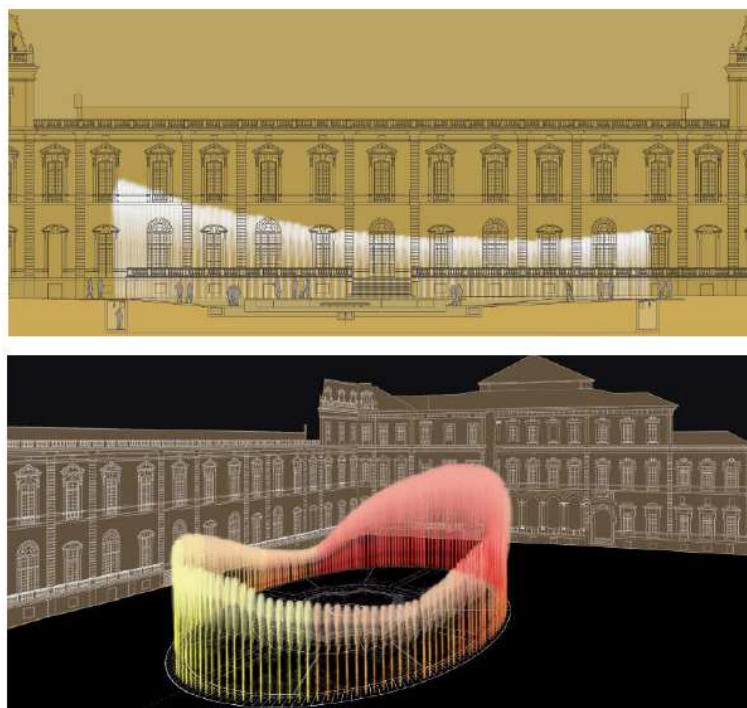


Figura 2 – Il progetto della Fontana del Cervo

L'acqua che cade sulla pavimentazione genera un significativo rumore. Un accorgimento tecnico adottato al fine di ridurre tale rumore indesiderato è l'applicazione di una griglia di protezione, la cui superficie forata contribuisce anche ad attenuare il fenomeno dello splash, recuperando gran parte della colonna d'acqua in ricaduta.

Le misurazioni sono state effettuate in posizione centrale, lungo la linea dell'asse minore dell'ellisse. Per tutte le rilevazioni, il registratore è stato fissato ad un treppiede di altezza 1,2 m ed i microfoni sono stati protetti da uno schermo antivento.

I campioni audio selezionati per il questionario sono stati tratti unicamente dalle registrazioni effettuate a distanza di 3 metri dalla bocca degli ugelli. Gli esempi da sottoporre ai test di ascolto sono complessivamente sette (Tabella 1). I primi tre campioni riguardano il funzionamento a regime con azionamento di tutti i getti: alla massima potenza di erogazione (100 %), in cui il getto raggiunge l'altezza di 9 metri, al 50 % di potenza di erogazione, 2 metri circa, ed alla minima potenza d'erogazione, 40 %, in cui i getti sfiorano un metro di altezza. I successivi campioni riguardano invece quattro distinte coreografie che il sistema permette di programmare.

Tabella 1 – Configurazioni esaminate per la Fontana del Cervo

Campione	n. getti	Codice effetto	Descrizione effetto
4	tutti	Potenza 100%	Altezza getto = 9 m
5	tutti	Potenza 50%	Altezza getto = 2 m
6	tutti	Potenza 40%	Altezza getto = 1 m
7	12 – 4	PRG31	coreografia
8	5 mobile	PRG1	<i>ola</i> senso antiorario
9	pari / dispari	PRG4	effetto tratteggio
10	6 mobile	PRG5	<i>ola</i> senso antiorario

5. Questionario di ascolto

L'approccio con cui si sono state condotte le analisi acustiche dei rilevamenti prevede la compilazione, da parte di un *panel* di ascoltatori addestrati, di un questionario di valutazione, redatto in base a parametri della psicoacustica [6] e somministrato per via informatica (Figura 3). Questi sono specificati dalle seguenti coppie antitetiche:

- volume: basso – alto;
- altezza: grave – acuto, debole – forte;
- timbro: confuso – nitido, rumoroso – armonico, scorrevole – ruvido, stretto – largo;
- direzionalità: basso – alto.

E' stato richiesto di attribuire un voto finale (da 1 a 10) sulla piacevolezza complessiva del suono. Ai fini di minimizzare gli sforzi del compilante, è stato implementato un programma che gestisce i diversi campioni audio in schede di ascolto interattive. La durata del test è di circa 10 minuti. Il questionario è stato somministrato a 26 soggetti, 19 maschi e 7 femmine, di età compresa tra i 21 e i 40 anni, tutti con buone conoscenze di acustica [7].

La registrazione di tutti i rilevamenti è stata impostata su un minuto di durata, in modo da poter poi riuscire ad estrarre una breve sequenza priva di inquinamento ambientale da utilizzare in fase d'analisi. I campioni esaminanti hanno quindi una durata di 5 secondi, in cui il segnale si presenta pressoché costante.

Nelle schede di ascolto inerenti alle registrazioni effettuate presso la Reggia di Venaria è stata aggiunta una domanda riguardante la rumorosità dell'impianto idraulico della Fontana del Cervo, in quanto percepita, sia in sede di campionamento che nella successiva fase di elaborazione audio, come una componente ambientale intrinseca significativa.

Figura 3 – Questionario di ascolto (la domanda sul rumore dell'impianto è presente solo nel caso della Fontana del Cervo di Venaria Reale

6. Analisi dei campioni audio

L'analisi dei campioni audio viene proposta in successione secondo l'ordine del questionario, partendo dal fragore della cascata, seguito dal suono intermedio della fontana fino ad arrivare al suono più lieve e delicato della catena d'acqua. La Figura 4 riporta il confronto tra le forme d'onda e la Figura 5 gli spettrogrammi dei tre casi esaminati.

Analizzando i valori di potenza dei tre segnali si può evincere che la catena d'acqua e la fontana mostrano un andamento simile, in cui prevalgono le basse intensità, mentre il contesto della cascata è dominato da alte intensità alle basse frequenze. L'analisi dello spettrogramma non appare però particolarmente significativo per il tipo di segnale in esame.

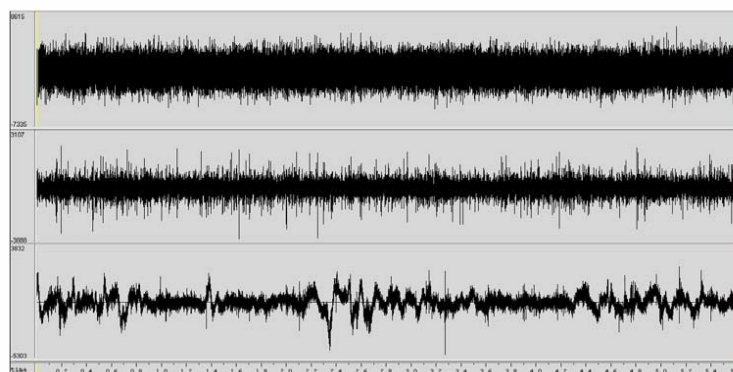


Figura 4 – Forme d'onda della cascata, della fontana e della catena d'acqua

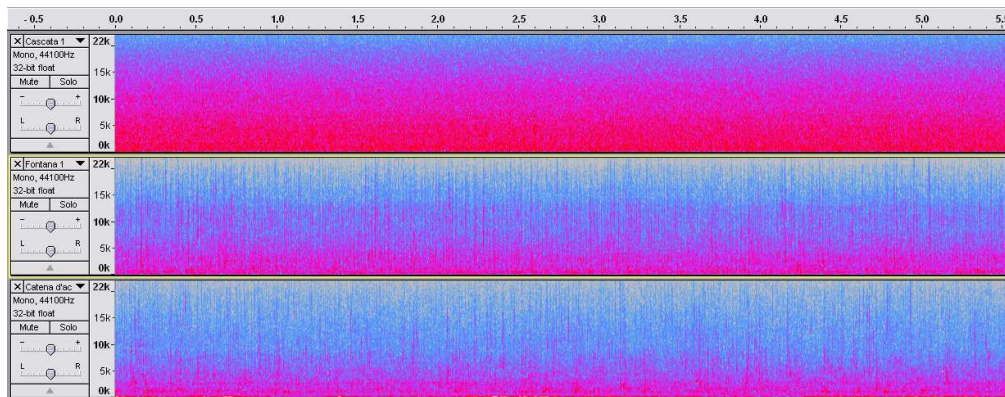


Figura 5 – Spettrogramma della cascata, della fontana e della catena d’acqua

L’altezza percepita dipende dalla frequenza fondamentale del segnale che può essere identificata tramite tecniche di Pitch Detection. Sia il suono della cascata che quello della fontana non evidenziano risultati significativi sotto questo aspetto. Per quanto riguarda l’energia, seguendo la dinamica del segnale, essa registra un tracciato indistinto con valori maggiori per la cascata e minori per la fontana. L’unica nota degna di attenzione consiste nella rilevazione di alcuni picchi nel suono della fontana. L’ascolto non rivela però particolarità acustiche che giustificano tale concentrazione di energia. Più interessante è il comportamento della catena d’acqua: questo segnale infatti modifica la propria dinamica in una composizione meno influenzata dal rumore.

Il parametro più incerto da valutare e confrontare da parte dell’ascoltatore è sicuramente il volume, in quanto risulta fortemente influenzato dalla distanza tra microfono e sorgente. Gli esiti della procedura d’analisi connessi ai valori di potenza dei segnali, così come i rispetti spettrogrammi, rispecchiano le valutazioni del questionario, che decretano come suono più alto quello della cascata, non riscontrando rilevanti differenze tra gli altri due componenti.

Data la natura essenzialmente inarmonica dei campioni, non è stato possibile individuare una frequenza fondamentale nella maggior parte dei campioni. L’unico comportamento interessante, testimoniato da risposte non esclusivamente rumorose, è quello della catena d’acqua. L’analisi statistica dei responsi al questionario evidenzia come acuti i suoni della cascata e della catena d’acqua, mentre la fontana è percepita come un suono grave.

Considerazioni analoghe si hanno per le percezioni timbriche dei segnali. Nonostante l’analisi spettrale rilevi la natura generalmente rumorosa di tutti e tre i campioni audio, solamente il primo, ossia la cascata, viene giudicato simile al rumore bianco. Per quanto riguarda la catena d’acqua essa individua una struttura più fine e vagamente armonica, mentre la forma d’onda e lo spettro della fontana sono chiaramente inarmonici. L’interrogazione statistica estrapola una sensazione del tutto opposta, in cui il timbro del suono è identificato mediamente nitido, tonale e scorrevole. Entrambi i suoni d’acqua vengono valutati, in termini di piacevolezza complessiva dell’effetto acustico, con votazioni mediamente alte. Infine, dall’analisi dei primi tre campioni possiamo concludere che il parametro della direzionalità è il meno intuitivo ed il meno significativo in termini statistici.

La valutazione complessiva di piacevolezza del suono (voto finale espresso dagli ascoltatori) è riportata in Tabella 2; la tabella individua anche quale fra i descrittori psicoacustici utilizzati presenta la miglior correlazione con il voto complessivo (risultato ottenuto calcolando l’indice di correlazione di Pearson, definito come rapporto tra la covarianza ed il prodotto delle deviazioni standard delle due variabili).

Confrontando i primi tre campioni, le valutazioni complessive tendono ad aumentare al diminuire del volume percepito e all’aumentare della percezione di tonalità: il segnale acusticamente più caratterizzato, ovvero quello della catena d’acqua, ottiene infatti il punteggio massimo.

Nel caso della Fontana del Cervo, il depotenziamento all'erogazione d'acqua porta ad un miglioramento della valutazione complessiva (non a caso, il giudizio sul caso a massima potenza si avvicina a quello formulato per la cascata, circostanza evidenziata anche dal confronto delle caratteristiche di segnali acustici): in sintesi, più il suono della fontana è percepito come forte, meno gradimento otterrà dall'ascoltatore. I risultati relativi al depotenziamento della fontana al 40% indicano due forti correlazioni con l'armonicità e la sharpness del timbro. I concetti di tonalità e nitidezza della configurazione sono direttamente proporzionali alla determinazione della valutazione generale del suono: più la fontana è percepita come rumorosa e confusa, più spiacevole è la sensazione complessiva del segnale.

Giudizi tutto sommato positivi sono stati attribuiti alle coreografie, oggetto degli ultimi quattro campioni; a titolo di esempio si riporta in Figura 6 lo spettrogramma e la forma d'onda relative al campione n. 8. In questi casi il giudizio sembra essere prevalentemente influenzato dalla dinamica del segnale e, nel caso di "effetti ola", dalla sensazione di spazialità (ed è questo l'unico caso in cui tale caratteristica è stata riscontrata). Anche per la Fontana del Cervo, come per i primi casi esaminati, si riscontra una correlazione positiva fra giudizio e percezione di tonalità. Per quanto riguarda il giudizio sul rumore dell'impianto idraulico, poiché il suono si mantiene pressoché costante nel tempo è difficile riscontrare il persistere dell'inquinamento di fondo e pertanto esso è percepito piuttosto come indifferente da parte dei giudici del questionario.

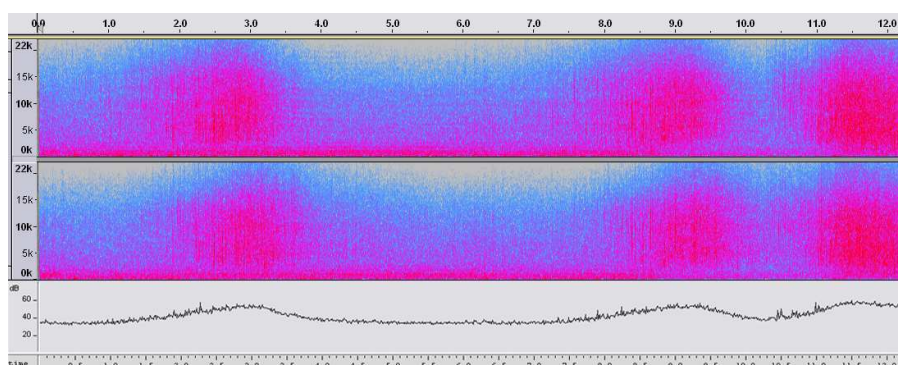


Figura 6 – Analisi del campione n. 8 (coreografia ad *ola* – Fontana del Cervo)

Tabella 2 – Valutazione complessiva di piacevolezza del suono

Campioni		Minimo - Massimo	Media	Moda (frequenza)	Parametro correlato
	cascata	1 – 8	3,85	5 (8)	Tonalità (+)
	fontana	3 - 9	6,88	7 (11)	Ruvidità (-)
	catena d'acqua	3 – 10	7,65	9 (7)	Tonalità (+)
Fontana del Cervo	Potenza 100%	1 – 8	4,04	4 (8)	Nitidezza (+)
	Potenza 50%	3 – 7	5,50	6 (12)	<i>Pitch strength</i> (-)
	Potenza 40%	1 – 8	5,46	6 (8)	Tonalità (+)
	PRG31	1 – 10	6,19	6 (7)	Brillantezza (+)
	PRG1	4 – 9	6,35	6 (9)	-
	PRG4	2 – 8	5,65	5 (9)	Rumore fontana (-)
	PRG5	1 - 9	5,46	5 (7)	Nitidezza (+)

7. Conclusioni

L'indagine svolta su un campione di registrazioni relative ad esempi di suoni d'acqua, di tipo naturale o artificiale, ed in particolare il caso studio relativo alla Fontana del Cervo della Reggia di Venaria Reale, è stata effettuata combinando l'applicazione di tecniche di analisi dei segnali ed indagini soggettive tramite test di ascolto con l'ausilio di questionari.

L'analisi dei questionari raccolti permette di concludere che il gradimento dei suoni d'acqua campionati dipende prevalentemente dalle caratteristiche timbriche del segnale, mentre la percezione del volume e dell'altezza, così come quella della direzionalità del suono, influiscono in maniera meno significativa sull'ascolto. Ovviamente, la limitatezza del campione induce a considerare i risultati con una certa cautela, in vista della disponibilità di un campione di dati sperimentali e di indagini soggettive sicuramente più ampie ed approfondite.

Fra gli sviluppi possibili merita sicuramente citare l'applicazione al tema dei suoni d'acqua del nuovo indicatore psicoacustico, denominato *Slope*, che è già stato utilizzato per la valutazioni di aree quiete in Italia e Gran Bretagna [2,3].

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano l'arch. Carlo Fucini e la società ... per il supporto fornito nell'indagine sulla Fontana del Cervo di Venaria Reale.

Bibliografia

- [1] A.C. Bertetti, S. Garavoglia, M. Masoero. "Acustica biocentrica: un nuovo percorso per la verifica di impatto acustico nelle aree naturali" *XXXI Convegno Nazionale AIA*, Venezia, 5-7 maggio 2004, pp. 445-450.
- [2] G. Licitra, G. Memoli, D. Botteldooren, B. De Coensel. "Traffic noise and perceived soundscapes: a case study" *Forum Acusticum 2005*, Budapest 29 Aug – 2 Sept. 2005
- [3] G. Memoli, A. Bloomfield, M. Dixon "Soundscape characterization in selected areas of Central London" *Acoustics'08*, Paris 29 Jun – 4 Jul 2008, pp. 5555-5560
- [4] M. Symmes, *Fontane, Giochi d'acqua e Spettacolo*, Edizioni Dedalo, Bari, 1998.
- [5] R. Murray Schafer, *Il paesaggio sonoro*, LIM – Libreria Musicale Italiana, Lucca, 1998.
- [6] E. Zwicker, H. Fastl. *Psychoacoustics: Facts and Models*, Springer, 3rd ed. 2007.
- [7] C. Roggero. *Water Sound Design*. Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione, Politecnico di Torino, 2009.