

WATER SOUND DESIGN - I SUONI DELL'ACQUA NELLA PROGETTAZIONE DEL PAESAGGIO SONORO URBANO E NATURALE: PRIME VERIFICHE SPERIMENTALI.

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

1) Politecnico di Torino, Torino

2) Studio Progetto Ambiente srl Società di Ingegneria, Torino

1. Premessa

La progettazione di fontane ornamentali o installazioni da giardino che fanno uso dell'acqua è affrontata dagli architetti solo in termini visivi ed estetici [1], con l'effetto di introdurre all'interno del contesto urbanizzato, nella maggioranza dei casi, ulteriori sorgenti di rumore anziché nuove armonie.

Il suono dell'acqua è tradizionalmente paragonato al rumore bianco del laboratorio: la sua energia si staglia in ugual modo lungo l'intero spettro dell'udibile ma cambia in continuo la sua distribuzione. In un momento predominano le vibrazioni gravi, in un altro acuti effetti sibilanti; nessun suono è però mai completamente assente e l'unico cambiamento consiste nel variare della loro intensità relativa. 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.[2] Ogni torrente, fontana, canale, ecc. parla in sostanza un proprio linguaggio che, se riconosciuto, può diventare un elemento in grado di guidare la progettualità.

Nella parte sperimentale della ricerca è stata svolta una prima fase conoscitiva di campionamenti audio di suoni d'acqua naturali (cascate) e artificiali (fontane, canali) di varie tipologie. La Fontana del Cervo della Reggia di Venaria Reale ha successivamente fornito l'occasione di rilevare, in condizioni controllate, svariate coreografie statiche e dinamiche. Nella seconda fase è stata svolta l'analisi delle caratteristiche fisiche del suono (spettrogramma, forma d'onda, ...) e il confronto tra i suoni emessi dall'acqua nelle sue varie manifestazioni naturali e antropiche. All'analisi delle registrazioni è seguita la selezione di dieci tracce audio che hanno rappresentato la base di un questionario finalizzato alla valutazione soggettiva dei campioni audio in termini di volume, altezza, timbro, direzionalità e gradevolezza complessiva del suono.

2. Campionamento di suoni d'acqua

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:

- tipologia a scorrimento: cascata del Vermenagna a Limonetto, Limone Piemonte;
- tipologia a getto: Fontana del Borgo Medievale, Parco del Valentino;
- tipologia a corso d'acqua: catena d'acqua a Laux, Fenestrelle.

La loro analisi ha permesso di tracciare un quadro generale di riferimento da applicare al caso studio del progetto, la Fontana del Cervo della Reggia di Venaria Reale.

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 a condensatore con rotazione flessibile nelle posizioni stereo X-Y o Wide. 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.

3. Questionario di ascolto

L'approccio con cui si sono state condotte le analisi acustiche dei rilevamenti prevede la compilazione, da parte di un campione di esperti, di un questionario di valutazione dell'ascolto, redatto in base ai parametri della psicoacustica [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 campione finale risulta composto da 26 persone, 19 maschi e 7 femmine, di età compresa tra i 21 e i 40 anni [4].

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.

4. 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 1 riporta il confronto tra le forme d'onda.

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.

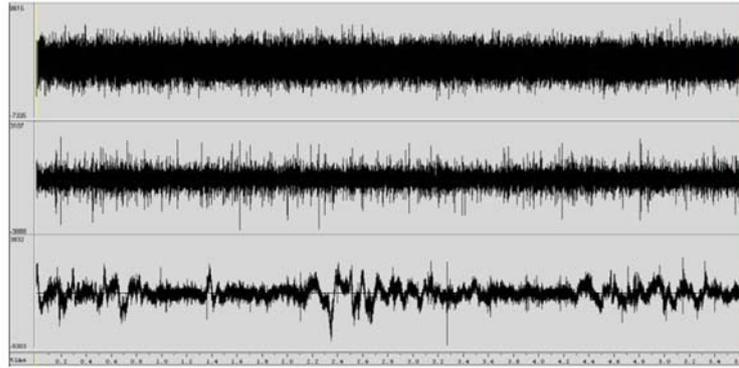


Figura 1 – Forme d’onda della cascata, della fontana e della catena d’acqua

L’altezza percepita dipende dalla frequenza fondamentale del segnale. Esistono metodi di analisi, denominati, Pitch Detection, che estraggono questo tipo di informazione. Essi possono seguire diversi approcci quali la ricerca della periodicità tramite la valutazione degli zero-crossing oppure, analogamente, dell’intervallo temporale che intercorre tra due picchi in ampiezza, altrimenti detto la ricerca del ritardo di autocorrelazione in un suono [4]. Nel primo caso, il semplice parametro del Zero-Crossing Rate (ZCR) fornisce un’adeguata informazione spettrale. Lo ZCR corrisponde al numero di passaggi per lo zero del segnale che matematicamente si esprime come il cambiamento di segno di due campioni successivi. Per segnali a banda stretta, da tale parametro si può ricavare la frequenza fondamentale del segnale tramite la relazione:

$$F_0 = \frac{ZCR + F_s}{2}$$

Lo ZCR è solitamente accompagnato al calcolo della Short-Time Average Energy. Essa è definita come:

$$E(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=n-N+1}^n s(i)^2$$

Il confronto tra il suono della cascata e quello della fontana non evidenzia risultati significativi: per entrambe lo ZCR distingue unicamente tratti rumorosi. 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 giustifichino 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.

Per questo tipo di indagine, il parametro più incerto da valutare e confrontare 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 inarmonica dei campioni, non è stato possibile rintracciare alcuna frequenza fondamentale, poiché la forma d'onda dei segnali non è periodica e quindi gli spettri risultanti non individuano picchi distanziati uniformemente. L'unico comportamento interessante, testimoniato da risposte non esclusivamente rumorose, è quello della catena d'acqua.

L'assenza di risultati è legata anche al fatto che si è adottato un approccio tipico dell'analisi vocale. L'analisi statistica dei responsi al questionario assume, invece, in questo caso un interesse significativo, in quanto sentenzia come acuti i suoni della cascata e della catena d'acqua, mentre la fontana è percepita come un suono grave.

Lo stesso discorso vale 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 di questi primi tre campioni, possiamo concludere che il parametro della direzionalità è il meno intuitivo ed il meno significativo in termini statistici.

Per una maggior correlazione tra la valutazione complessiva di piacevolezza del suono e i parametri psicoacustici, ci si può avvalere delle teorie statistiche. Servendosi del programma statistico SPSS, si può quindi calcolare la correlazione di Pearson, rapporto tra la covarianza delle due variabili in gioco e il prodotto delle loro deviazioni standard, tra il voto finale espresso dagli ascoltatori e i diversi descrittori delle schede d'ascolto.

Nel primo campione emerge che la gradevolezza del suono della cascata è correlata positivamente con il parametro timbrico della tonalità. Ciò significa che il concetto di armonicità della cascata è direttamente proporzionale alla determinazione della valutazione generale del suono: in questo caso, più la cascata è percepita come rumorosa, più sgradevole è la sensazione complessiva del segnale.

Nel caso della fontana, il voto complessivo ha una correlazione negativa con significatività molto alta, con la sensazione di ruvidità. Più il suono della fontana è recapito come ruvido, meno gradimento otterrà dall'ascoltatore.

L'ultimo campione in esame registra, infine, una correlazione meno marcata rispetto ai casi precedenti con i parametri richiesti. Il risultato più indicativo è dato, come per la cascata, dalla tonalità del segnale.

5. La Fontana del Cervo di Venaria Reale

Il progetto della Fontana del Cervo (Figura 2) propone le suggestioni dei giochi d'acqua rinascimentali unite alle 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.

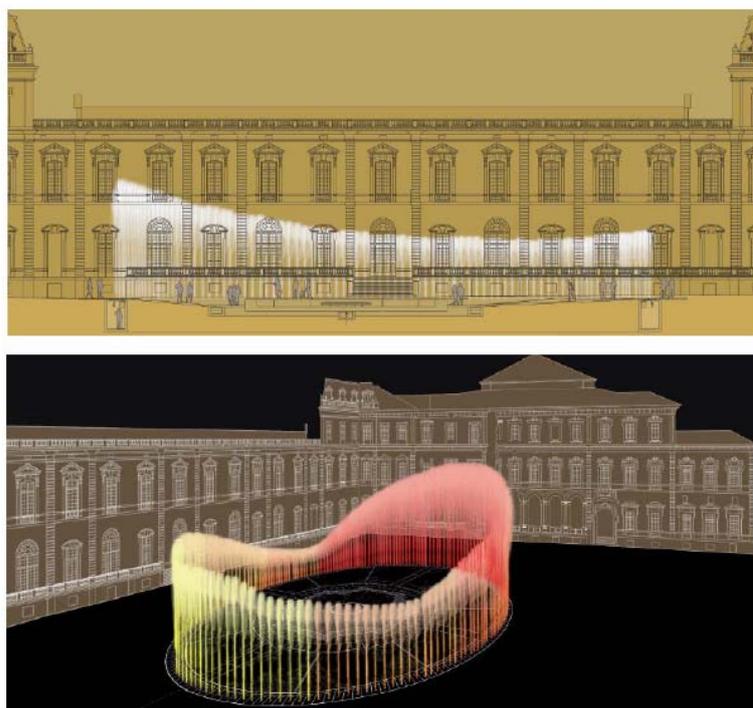


Figura 2 – Il progetto della Fontana del Cervo

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. Nella creazione degli esempi da sottoporre ai test di ascolto, sono stati selezionati tre campioni che individuano l'azionamento di tutti i getti alla massima potenza di erogazione, 100 %, raggiungendo 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.

Nelle schede di ascolto inerenti alle registrazioni effettuate presso la Reggia di Venaria è stata aggiunta una domanda riguardante la rumsosità 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.

Le prime incongruenze tra analisi sperimentale e percezione soggettiva emergono considerando l'attributo del volume. Mentre le rilevazioni fisiche della potenza misurano un'analogia tra i valori della fontana nella situazione a regime dimezzato e minimo, dal punto di vista di psicoacustico, tale somiglianza non viene percepita. Si avvicinano, anzi, le percezioni tra i segnali con potenza al 100 % e al 50 %.

Data la natura irregolare dei campioni selezionati non si è riusciti a ricavare informazioni sulle frequenze fondamentali degli audio in esame. L'incertezza di sensazione

di altezza si manifesta anche in fase di ricezione: il campione infatti riesce a distinguere il pitch solamente nel primo caso, decretando il suono acuto e forte. Nei casi successivi la dispersione delle risposte non fa emergere nessuna conclusione. Solo la robustezza della configurazione minima è percepita come debole.

Le stesse tendenze si registrano nella definizione di timbro: se appare abbastanza banale definire il primo campione come il più rumoroso, confuso e ruvido, dal punto di vista analitico si prevede un'analogia più spiccata tra le situazioni in cui la fontana ha potenza 50 % e 40 %. L'indagine percettiva, invece, come nel caso del volume, rivela un'affinità tra il primo e il secondo esempio. Il parametro della direzionalità risulta il meno rintracciabile.

Per quanto riguarda il giudizio sul rumore di azionamento e ricircolo della fontana in termini di impedimento di ascolto, 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.

Utilizzando la correlazione tra le diverse variabili, avvalendosi del coefficiente di Pearson, è possibile notare una correlazione positiva, nel primo campione, tra due aspetti timbrici: nitidezze a tonalità.

Nel caso della fontana a regime 50 %, il voto complessivo ha una correlazione negativa con la sensazione di forza del pitch. Più il suono della fontana è recepito come forte, meno gradimento otterrà dall'ascoltatore.

I risultati della scheda relativa all'ultimo stadio di depotenziamento della fontana 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.

6. Conclusioni

L'analisi dei questionari raccolti permette di concludere che il gradimento dei suoni d'acqua campionati dipende statisticamente dalle caratteristiche timbriche del segnale, mentre la percezione del volume e dell'altezza, così come quella della direzionalità del suono, non influiscono significativamente sull'ascolto. Tali risultati devono peraltro essere considerati come assolutamente preliminari, in vista della disponibilità di un campione di dati sperimentali e di indagini soggettive sicuramente più ampie ed approfondite.

Bibliografia

- [1] M. Symmes, *Fontane, Giochi d'acqua e Spettacolo*, Edizioni Dedalo, Bari, 1998.
- [2] R. Murray Schafer, *Il paesaggio sonoro*, LIM – Libreria Musicale Italiana, Lucca, 1998.
- [3] E. Zwicker, H. Fastl. *Psychoacoustics: Facts and Models*, Springer, 3rd ed. 2007.
- [4] C. Roggero. *Water Sound Design*. Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione, Politecnico di Torino, 2009.