

Cos'è la musica elettroacustica?

Carmine Emanuele Cella

carmine.emanuele.cell@gmail.com

18 dicembre 2011

Sommario

Il seguente articolo presenta una breve introduzione a quell'insieme eterogeneo di discipline comunemente note con il nome inglese di *computer music* tradotto in italiano come *musica elettronica* o *elettroacustica*. Il taglio dell'articolo è di tipo teorico-tecnico; per informazioni storiche si veda la bibliografia in calce.

1 Costruire il suono

1.1 Non c'è una risposta

Purtroppo non è possibile dare una risposta unica e definitiva alla domanda che intitola quest'articolo. La disciplina generalmente definita *musica elettroacustica*, infatti, non si compone di un corpus organico facilmente catalogabile. Anzi, è piuttosto un territorio complesso che non si dispone linearmente nel quale non è possibile muoversi seguendo una traiettoria semplice e retta. Ecco perché non c'è una risposta. Ciò che è possibile fare è distinguere delle classi di oggetti riguardanti domini differenti; ovviamente tale distinzione è di puro carattere personale e non trova alcun riscontro storico o teorico nella disciplina. Piuttosto, è più un'esigenza didattica che impone tale ordinamento. Nella musica elettroacustica sono presenti tre classi (o famiglie) principali di oggetti:

1. Oggetti per la *costruzione* del suono.
2. Oggetti per la *modifica* del suono.
3. Oggetti per la *comprendione* del suono e per lo studio dei rapporti tra suono e realtà.

Come già affermato sopra, tale catalogazione non trova alcun riscontro di tipo storico o teorico ma permette di articolare una presentazione più organica e comprensibile della materia in sé. Un'infinità di altre famiglie sarebbero riscontrabili, anche perché la musica elettroacustica è una disciplina la cui evoluzione ha ritmi vertiginosi spesso legati alla metamorfosi continua della tecnologia (al giorno d'oggi, infatti, lo studio della musica elettroacustica non può prescindere dall'uso del calcolatore), ma per semplicità espositiva si dovrà ritenere completo l'elenco sopra presentato. Nonostante i problemi incontrati tuttavia, è possibile affermare che la musica elettroacustica si occupa principalmente (come è già intelligibile dal nome) di quella particolare musica prodotta da mezzi elettronici e da mezzi acustici. Come ovvio, questa definizione è piuttosto vaga. Sostanzialmente, alla prima classe appartengono: tecniche di sintesi, di controllo, di ripresa e di composizione; alla seconda classe invece: tecniche di DSP e post-produzione; alla terza classe infine: tecniche di analisi, di rappresentazione e altri aspetti di tipo sociologico, psicofisico ed antropologico riguardanti la musica elettroacustica. Non è possibile con esattezza dire quando e se la musica elettroacustica sia divenuta una disciplina organizzata e coerente; certo è che con l'avvento dell'era digitale è completamente cambiato l'approccio verso questa materia. L'introduzione del calcolatore ha mutato gli orizzonti di riferimento, semplificando tanti problemi ma anche introducendone di nuovi ed inaspettati. La musica elettroacustica ha così modificato la sua fisionomia fino ad assumere la forma contemporanea; è proprio di questa forma che verrà trattata in questa sede, tralasciando tutti gli aspetti legati all'analogica e trattando solo la parte che trova il suo sostrato implementativo nel mondo digitale. Nel mondo dei calcolatori. Quest'articolo si compone di tre sezioni: nella prima si esamineranno gli oggetti delle classi prima e seconda mentre nella seconda e nella terza sezione si discuterà di oggetti che afferiscono alla classe terza. Non vi è una gerarchia tra le classi presentate. Piuttosto tra esse intercorre uno stretto rapporto senza il quale nessuna delle tre classi avrebbe senso. E' la loro sinergia a renderle fruibili.

1.2 Elementi di teoria dei segnali

Il suono, in senso generale, consiste in successivi cambiamenti nella pressione di un mezzo da parte di una sorgente. Tali cambiamenti vengono poi percepiti da un ascoltatore, il quale li decodifica interiormente interpretandoli in maniera più o meno complessa¹. Se la

¹Tale definizione è assolutamente informale; per qualcosa di più rigoroso si faccia riferimento alla Bibliografia.

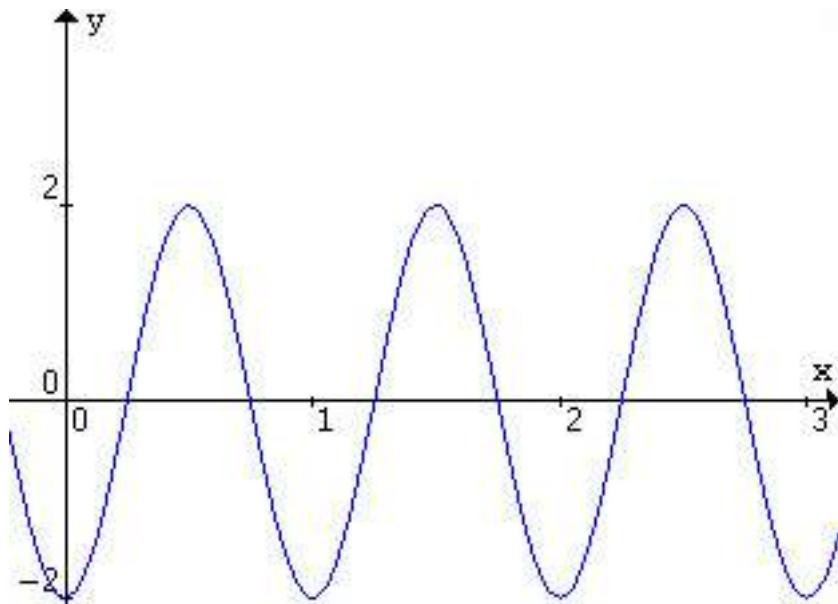


Figura 1: Rappresentazione ampiezza/tempo

pressione varia secondo un disegno ripetitivo si dirà che il suono prodotto ha una forma d'onda *periodica*; se invece non è riscontrabile alcun disegno tale suono è detto rumore. Tra questi due estremi esistono anche suoni di tipo quasi-periodico e di tipo quasi-rumoroso. Una ripetizione della forma d'onda periodica è detta *ciclo*; si chiamerà invece *frequenza fondamentale* della forma d'onda, il numero di cicli che avvengono in un secondo. Appare evidente che maggiore è la lunghezza d'onda (ovvero la lunghezza di un ciclo), minore sarà la frequenza. Comunemente, quest'ultima grandezza è misurata in Hertz (Hz) dal nome del fisico acustico tedesco Heinrich Hertz. Un valido metodo per rappresentare graficamente le forme d'onda è quello basato su un grafico cartesiano *ampiezza/tempo* (dominio del tempo - dove per ampiezza intendiamo i cambiamenti della pressione dell'aria). Perché un suono sia udibile dall'orecchio umano, esso deve avere una frequenza fondamentale compresa tra 20 Hz e 20.000 Hz (tale stima varia da uomo a uomo). La figura 1 esemplifica tutto ciò che è stato illustrato fino adesso. Ovviamente, oltre alla frequenza fondamentale in un suono possono essere presenti altre frequenze; tali frequenze vengono dette *armoniche* se sono multiple della frequenza fondamentale o *parziali* se stanno in rapporto frazionario con essa. Per rappresentare correttamente tali informazioni aggiuntive si può ricorrere ad un grafico *frequenza/ampiezza* (dominio della frequenza), in cui sono pre-

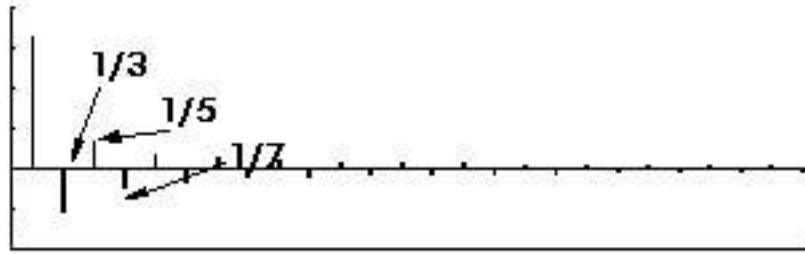


Figura 2: Rappresentazione ampiezza/frequenza

sentate le singole parziali (o armoniche) con le relative ampiezze (Fig. 2). Oltre alle due proprietà trattate fino ad ora, ovvero ampiezza e fase, il suono apporta anche un altro tipo di informazione: la *fase*. La fase è una sorta di indice della forma d'onda: così la fase iniziale è il punto di inizio di una forma d'onda. Dunque due suoni (che d'ora in poi si chiameranno *segnali*) vengono detti in *concordanza* di fase se partono allo stesso punto della forma d'onda. L'importanza della fase appare evidente (tra le altre cose) nel caso di somme di forme d'onda: se due segnali emessi contemporaneamente sono in concordanza di fase infatti, la loro ampiezza si somma altrimenti si elide (cfr. § 1.5 per maggiori spiegazioni).

1.3 Rappresentazione digitale dei segnali

Nel mondo digitale, le forme d'onda di cui si è parlato sono in realtà degli oggetti discreti e non continui come nel mondo analogico. A grandi linee, è possibile affermare che ciò dipende dal fatto che una grandezza fisica (come la pressione dell'aria) per essere rappresentata digitalmente deve venire in qualche modo *quantificata numericamente*. E' ovvio che la precisione numerica dei calcolatori è finita e non infinita. Proprio per questo motivo ci si dovrà accontentare di un risultato parziale che approssima soltanto alla grandezza fisica considerata. Tale processo di quantificazione (e discretizzazione) è detto *campionamento* e richiede particolari oggetti detti ADC (analog-to-digital converter) per essere attualizzato. Il processo completo può essere schematizzato come segue: una sorgente viene messa in movimento da una qualunque forma di energia di attivazione; come risultato produce delle vibrazioni più o meno periodo di un mezzo (ad esempio dell'aria). Tali vibrazioni possono essere catturate da apparecchi trasduttori (come per esempio un microfono) e venire così trasformate in energia elettrica. A sua volta quest'energia viene trasformata dall'ADC in una

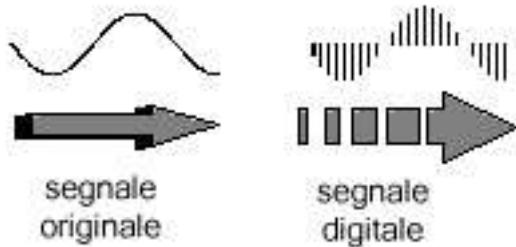


Figura 3: Campionamento

sequenza numerica direttamente utilizzabile da un calcolatore, tipicamente basata su un sistema numerico binario. Viceversa, per ascoltare di nuovo un segnale digitale è necessario riconvertirlo in segnale analogico tramite oggetti opposti detti DAC (digital-to-analog converter) per poi trasformarli in vibrazioni ancora tramite un trasduttore (ad esempio l'altoparlante). La figura 3 mostra la prima parte del processo. Chiaramente nessuna di queste due conversioni produce segnali uguali a quelli di partenza: in entrambi i casi si avranno delle approssimazioni più o meno precise. Si supponga di estrarre un singolo valore (in un dato istante del tempo) da una funzione continua rappresentata nel dominio del tempo e di chiamare tale valore *campione*. Si supponga ora di estrarne un altro e poi un altro ancora, spostandoci avanti nel tempo. Appare chiaro che più campioni verranno estratti più sarà verosimile l'approssimazione della funzione continua iniziale. Ovvero: maggiore è il numero di campioni nel tempo, migliore sarà la definizione del segnale (figura 4). Definendo *tasso di campionamento* (o sampling rate) la frequenza di estrazione dei campioni nel tempo, è possibile affermare che maggiore è il tasso di campionamento, più verosimile sarà il segnale rappresentato digitalmente. Ad esempio, il tasso di campionamento di un compact-disc è di 44.1 KHz ovvero di 44.100 campioni al secondo. Il tasso di campionamento di un segnale radiofonico è invece mediamente di 8 KHz. Come si vede, il CD possiede una qualità audio superiore. In realtà, non tutte i segnali sono rappresentabili digitalmente con qualunque tasso di campionamento. Esiste infatti un teorema, detto *teorema di Nyquist*, che afferma: *per rappresentare correttamente un segnale con frequenza massima f , il tasso di campionamento deve essere almeno il doppio di tale frequenza*. Ciò significa che per rappresentare un segnale a 440 Hz (una delle note centrali del pianoforte), serve un tasso di campionamento di almeno 880 Hz. Da ciò emerge allora che con un tasso di 44.1 KHz possiamo rappresentare segnali con frequenza massima di 22.050 Hz. Tenendo

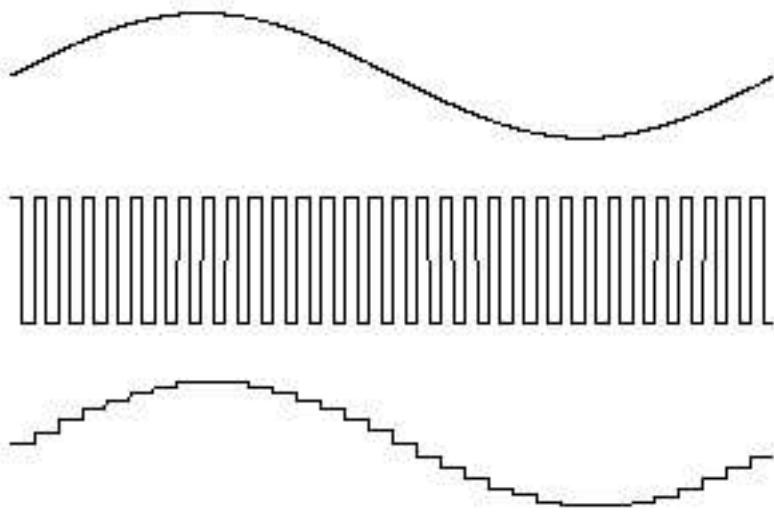


Figura 4: Approssimazione nel campionamento

conto che l'orecchio umano può udire segnali fino a circa 20.000 Hz, si capisce come tale tasso di campionamento sia sufficiente per qualunque segnale audio². Oltre al teorema di Nyquist, nelle procedure ADC e DAC intervengono anche altre problematiche, legate alle stesse conversioni. I più noti problemi riscontrati sono quelli relativi al foldover (o *aliasing*), un fenomeno che si verifica per motivi piuttosto complessi che trascendono questa trattazione. In ogni caso, per evitare tali fenomeni, i processi di conversione sono spesso accompagnati da processi di filtraggio dei segnali (cfr. § 1.6).

1.4 Cenni sulla sintesi del suono

Dunque, il campionamento trasforma segnali acustici in sequenze numeriche binarie. Per gli scopi relativi alla musica però, il mondo digitale va ben oltre il campionamento: esso rende infatti possibile la *sintesi del suono* e l'*elaborazione numerica dei segnali* (ovvero il DSP, cfr. § 1.6). La sintesi del suono, è il processo di generazione di flussi di campioni sulla base di algoritmi matematici che descrivono il suono secondo i suoi parametri. Esiste una gran varietà di tipi di sintesi:

²In realtà la questione è più complessa: al giorno d'oggi si vendono commercialmente apparecchi digitali che campionano a 48 KHz o addirittura a 96 KHz. Ciò accade perché sovraccampionando in tal maniera, vi sono comunque dei miglioramenti (sebbene non così evidenti) nella qualità.

- *Sintesi additiva*: è basata sull'addizione di forme d'onda elementare (tipicamente di tipo sinusoidale). È stata la prima sintesi praticata; è estremamente potente ma anche molto difficile da gestire. Come sostrato teorico si basa sul teorema di Fourier, che afferma che è possibile scomporre qualunque suono complesso in somme di seni e coseni opportunamente bilanciate (cfr. § 1.5 per una migliore spiegazione).
- *Sintesi sottrattiva*: è concettualmente l'opposto della sintesi additiva e si basa sulla sottrazione di forme d'onda da materiali più complessi (come ad esempio dal rumore bianco). È molto interessante ma ha grossi limiti timbrici.
- *Sintesi a modulazione di frequenza (o di fase)*: è stata scoperta negli anni settanta ed è stata massivamente usata in applicazioni commerciali da colossi dell'elettronica. Si basa su una particolare moltiplicazione di forme d'onda che produce spettri sonori davvero complessi con basse richieste di calcolo. Permette di imitare facilmente il timbro degli strumenti acustici e della voce umana. È stata usata molto anche nella composizione di musica elettroacustica.
- *Sintesi per distorsione non lineare*: forma particolare di sintesi basata sulla mappatura di funzioni lineari (come ad esempio del seno) su funzioni non lineari (ad esempio i polinomi di Chebyshev). Non è molto usata ma produce spettri estremamente ricchi che facilmente degenerano nel rumore.
- *Sintesi per formanti*: sintesi piuttosto recente scoperta in Francia, basata sull'imitazione della cavità orale. Produce suoni con spettro distribuito sulle formanti della voce umana, ovvero sulle sue frequenze caratteristiche. Usata inizialmente per imitare i colpi di glottide dell'uomo è divenuta una delle sintesi più usate per qualunque esigenza timbrica.
- *Sintesi granulare*: è nata circa negli anni '60 ma in effetti è stata praticata solo molto dopo per via delle difficoltà di calcolo che implica. Si basa su una concezione *corpuscolare* del suono, opposta a quella di Fourier, producendo forme d'onda per somma di grani sonori a trama più o meno densa. È forse la sintesi più potente e versatile mai scoperta. Molti degli effetti audio del cinema contemporaneo si basano su di essa.
- *Sintesi per modelli fisici*: è una sintesi che non nasce dall'esigenza di creare suoni su modelli matematici astratti, bensì da quella di riprodurre suoni già esistenti nel mondo fisico. Si basa sull'imitazione digitale dei sistemi fisici che producono i suoni (corde

percosse, ance messe in movimento, ecc.) E' una delle sintesi che ancora richiede ricerca per una migliore definizione.

Il panorama esposto è ovviamente parziale; è tuttavia sufficiente per rendere l'idea della complessità cui si accennava all'inizio di questo articolo. Non è possibile tracciare una linea retta su cui muoversi, in quanto la disciplina stessa si dispone nello spazio secondo modelli molto più complessi.

1.5 La sintesi additiva

La sintesi additiva, è una *classe* di sintesi del suono che si basa, come rivela lo stesso nome, sull'addizione di forme d'onda elementari per realizzarne una più complessa. L'uso della sintesi additiva è praticato fin da secoli fa, in cui gli organi a canne con registri multipli organizzavano timbri sonori proprio mediante la somma di più registri. Anche nell'ambito della musica elettroacustica il suo utilizzo è stato considerevole sin dagli inizi. Si possono ricordare composizioni come Komposition 1953 Nr. 2 Studie I e Studie II (1954) di K. Stockhausen. Uno dei principali tipi di sintesi additiva è quello che parte dalla somma di un certo numero di onde sinusoidali, ognuna di una data frequenza e ampiezza. Una delle differenze principali tra la sintesi per armoniche e quella per parziali è costituita dal fatto che mentre nel primo caso il suono sintetizzato avrà un'altezza ben definita e riconoscibile, cosa che non accadrà nel secondo caso, in cui al massimo verrà delineato un *intorno* frequenziale più o meno localizzabile acusticamente. Come sua intrinseca caratteristica la sintesi additiva per somma di sinusoidi genera timbri che non variano le loro proprietà acustiche nel tempo definiti segnali *stazionari*. In realtà timbri più interessanti e *vivi* si possono ottenere modificando in fase di generazione i parametri richiesti da questo tipo di sintesi; otterremo così timbri mutevoli nel tempo detti appunto segnali *tempo-varianti*. Una difficoltà di quest'ultimo approccio è la considerevole quantità di dati-parametro richiesta per la generazione sonora. I parametri principali che influenzano il risultato acustico di questa sintesi sono contenuti come è facile intuire nelle caratteristiche delle onde sonore che si utilizzano come mattoni del nostro muro sonoro. In particolare molto importanti risulteranno il tipo di forma d'onda (sinusoidale, triangolare, quadra, . . .), la frequenza di tali onde componenti, il rapporto tra le ampiezze e il valore della fase. Non si deve poi dimenticare il parametro densità. Con il termine *densità* si designa solitamente quella caratteristica che viene definita dal numero di parziali utilizzate per la sintesi. Molte parziali daranno una grande densità, poche una densità bassa. La densità è uno dei parametri più importanti,

ma anche più singolari; in effetti si è potuto evidenziare il fatto che si possono originare delle situazioni paradossali per cui una densità elevata non determina sempre, come si potrebbe pensare, suoni più complessi all'ascolto e viceversa. E' facile rendersi conto del fatto che la sintesi additiva ha dalle grandi potenzialità per la possibilità che offre al suo utilizzatore di gestire e manovrare parametri come numero di parziali, loro frequenza, ampiezza e durata. In teoria la sintesi additiva può sostituire qualsiasi altro tipo di sintesi, in quanto secondo il teorema di Fourier è in grado di creare qualunque forma d'onda periodica con una serie di armoniche ognuna di una data ampiezza. E' evidente però che per creare segnali complessi e tempo-varianti, è necessaria una gestione minuziosa e cosciente dei parametri. Proprio la possibilità di gestire tanti parametri di sintesi in realtà è una delle più grosse difficoltà che si pone a chi utilizza tale metodo. I problemi nascono non solo dal dover sapere il numero di parziali da utilizzare, la frequenza di ognuna di esse, il peso di ognuna, ma anche dal come scegliere tali parametri e da come variarli nel tempo.

1.6 Tecniche di DSP

Come affermato all'inizio di questo articolo nella musica elettroacustica non vi sono solamente oggetti preposti alla creazione del suono, ma anche oggetti per la modifica di un suono già esistente (e nel nostro caso, già campionato – cioè reso numerico). DSP è infatti l'acronimo di Digital Signal Processing, ovvero elaborazione numerica del segnale. Le tecniche di DSP permettono di attuare processi di trasformazione su flussi di campioni allo scopo di ‘scolpire’ il suono fino ad attribuirgli una nuova forma esterna ed interna. Le principali tecniche di DSP sono elencate di seguito:

- *Manipolazioni d'ampiezza*: sono degli oggetti che intervengono sulla ampiezza di un segnale ridisegnandone il profilo sulla base di particolari parametri.
- *Missaggio*: procedura di unione di più suoni che permette anche operazioni al macro livello, come ad esempio il cross-fading.
- *Filtraggio ed equalizzazione*: oggetti in grado di modificare la morfologia spettrale di un suono fino a mutarlo completamente.
- *Effetti di ritardo (echo, chorus, flanger, ecc.)*: procedure basate sulla posposizione nel tempo di un certo numero di campioni, in grado di realizzare interessanti effetti acustici.
- *Convoluzione*: trasformazione simultanea nel dominio del tempo ed in quello della frequenza che trasfigura un suono e gli attri-

buisce proprietà ad esso completamente estranee. Molto potente ma anche molto dispendiosa dal punto di vista del calcolo.

- *Proiezioni spaziali (compreso il riverbero)*: mutazioni nello spazio interno e/o esterno di un suono atte a simulare la presenza di un contesto spaziale di qualunque tipo (una cattedrale, un altoparlante in movimento, un oggetto in caduta libera, ecc.).
- *Riduzione del rumore*: procedura dedicata al restauro di documenti sonori mediante l'eliminazione della parte di rumore presente.
- *Conversione del sampling rate*: modifica del tasso di definizione del segnale con o senza modifica dell'informazione frequenziale.
- *Procedure di analisi*: sebbene afferiscano alla terza classe del nostro elenco iniziale, spesso prevedono l'uso di tecniche di DSP per la loro implementazione (filtri, trasformazioni, ecc.) Oltre che per la comprensione del suono possono essere anche usate come base per una futura risintesi.
- *Compressione/espansione nel tempo*: sono oggetti che modificano la durata di un suono senza intaccarne la frequenza, o viceversa.

Sebbene il DSP sia un campo relativamente nuovo è subito divenuto centro di interesse e ha subito sviluppi molto rapidi e interessanti.

1.7 Composizione assistita dal calcolatore

Nel dominio digitale è possibile, almeno teoricamente, creare suoni di qualunque tipo a partire da un modello matematico astratto. In realtà però non è solo nella costruzione timbrica che stanno le potenzialità della musica elettroacustica. Come la musica tradizionale, anche questa forma d'espressione esige la presenza di un pensiero organizzato e coerente per la creazione di oggetti sonori che si possano fregiare del titolo di composizioni. A differenza della musica tradizionale però viene meno un anello nella catena artistica: manca l'esecutore. In un certo senso infatti il compositore è lo stesso esecutore e può stabilire un rapporto molto più stretto con il suo prodotto musicale, di quanto non sia possibile fare in altri contesti. Come controparte tuttavia, abbiamo lo svantaggio di trovarci dinanzi a prodotti artistici che non prevedono più un pubblico (non ha senso andare al teatro per ascoltare un CD tutti insieme) e di conseguenza un luogo. Proprio così, molto spesso la musica elettroacustica si trova ad essere una musica senza luogo. Fortunatamente esistono forme intermedie (come quelle basate su strumento acustico e strumento elettronico) che permettono di

trovare un terreno comune entro cui inquadrare tali prodotti artistici. La composizione elettroacustica dunque è a tutti gli effetti una composizione assistita dal calcolatore. Tale strumento infatti interviene a più livelli e permette di raggiungere gradi di espressività impensabili nel mondo analogico. Come è accaduto nell’ottocento a riguardo della luce, anche sulla natura del suono c’è stato un dibattito: da una parte si è interpretato il suono come formato da onde, mentre dall’altra si è pensato come formato da corpuscoli, detti grani sonori. Questa dicotomia ha comportato, nell’ambito della composizione elettroacustica, due differenti approcci verso la materia: un primo approccio, basato più sulle qualità timbriche del suono, che ha prodotto musica di tipo pneumatico, in cui il respiro musicale è davvero diverso rispetto a qualunque altro contesto. Un secondo approccio invece, basato più sul gesto acustico, che ha prodotto brani in cui il respiro musicale è invece più assimilabile a strumenti tradizionali; ovvero più assimilabile al respiro umano. Entrambi questi approcci hanno permesso di creare grandi capolavori e proprio per questo motivo si è potuto usare il calcolatore su più livelli. Non solo infatti lo si è potuto usare nella creazione dei timbri ma anche nella creazione dei gesti acustici, sfruttando ad esempio oggetti matematici come le catene markoviane o i frattali; lo si è anche potuto usare per controllare la costruzione in tempo reale della generazione del suono, usando oggetti multiformali come il protocollo MIDI. Si è potuto, infine, usarlo per meglio rappresentare l’informazione acustica, la cui complessità è ormai rappresentabile solo multidimensionalmente, su più piani. Nella musica elettroacustica si è dunque creata una potente sinergia tra l’uomo e la macchina che ha portato e sicuramente porterà interessanti risultati artistici. Con questo si completa l’indagine condotta *all’interno* del suono. Si esaminerà ora l’esterno del suono per capire come esso si relazione con l’uomo e con il mondo.

2 Percepire il suono

2.1 L’orecchio umano

Da quanto detto appare che, spesso, il processo di composizione inizia proprio dal suono stesso. Si rende così necessario lo studio di come l’uomo interpreti dentro di sé il suono. Tale studio si organizza in una disciplina chiamata appunto *psicoacustica*: l’oggetto di indagine di questa scienza è infatti la dicotomia tra l’evento fisico ed il costrutto mentale che viene prodotto: in fin dei conti il suono esiste solo nella testa dell’essere che lo percepisce. Per capire quali fenomeni accadono durante l’ascolto di un suono sarà necessario, innanzi tutto, descrivere

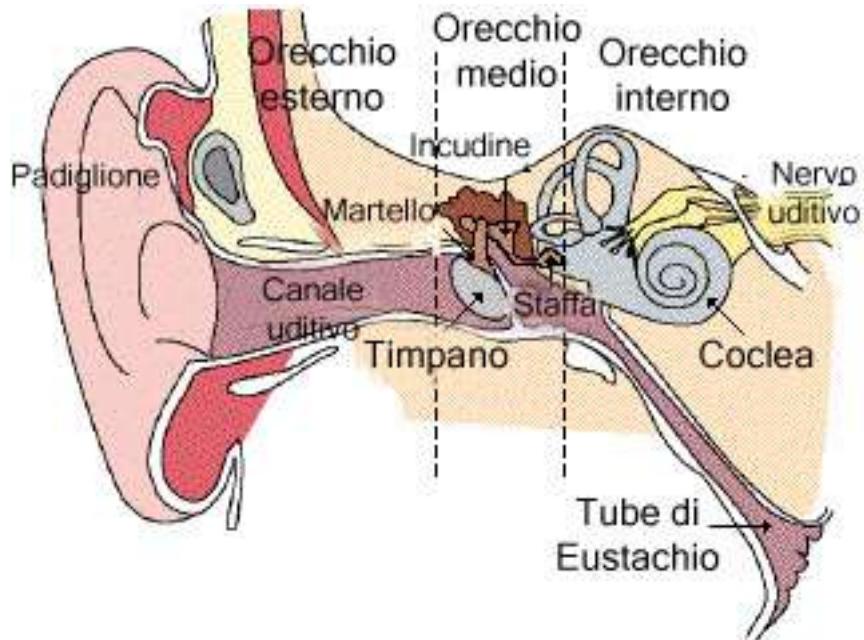


Figura 5: L'orecchio dell'uomo

l'organo preposto a tale funzione: l'*orecchio* (figura 5). Esso si divide in tre sezioni principali (per comporre il sistema uditivo periferico):

- *Orecchio esterno*: un apparato dedicato all'amplificazione delle vibrazioni dell'aria.
- *Orecchio medio*: l'organo preposto alla trasduzione delle vibrazioni in vibrazioni meccaniche.
- *Orecchio interno*: l'apparato che opera ancora su tali vibrazioni, sempre mediante trasduzioni questa volta di tipo meccanico, idrodinamico e elettrochimico, fino ad arrivare ai neurotrasmettitori del cervello.

La *coclea* è il punto focale dell'orecchio interno. Essa contiene la membrana basilare e l'organo di Corti insieme trasducono le vibrazioni in segnali neuronali (o codici). Il processo uditivo termina in realtà oltre la coclea, ovvero nel cervello, dove si combinano le informazioni in arrivo da entrambe le orecchie e si interpretano costruendo così l'immagine mentale di un suono.

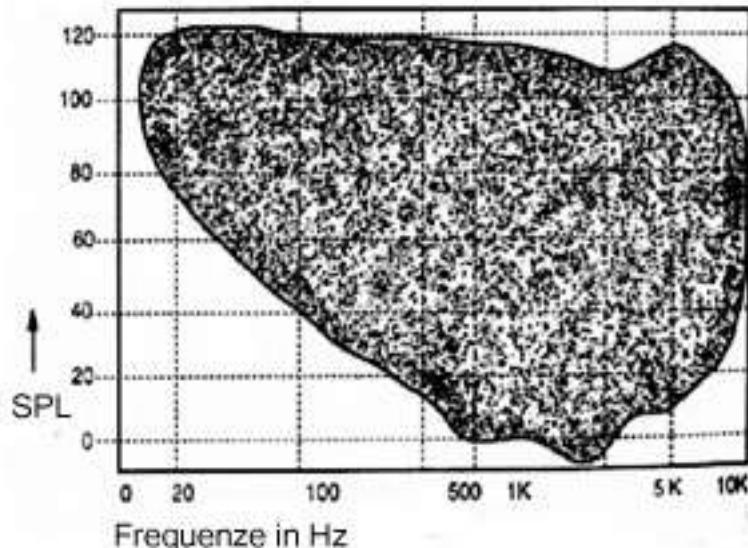


Figura 6: Grafico SPL

2.2 Intensità, variazioni nel tempo, frequenza

L'intensità è una grandezza relazionata all'energia in un'onda. Non vi è però una corrispondenza biunivoca tra intensità e volume sonoro in quanto questo dipende da altri parametri fisici come lo spettro, la durata e i suoni di sottofondo. In sostanza infatti, il volume sonoro è percepito secondo una curva esponenziale. In ogni caso, l'intensità è misurata in SPL (sound pressure level) definiti come: $SPL = 20 * \log_{10}(P/P_0)$ dove la pressione di riferimento P_0 è $0.00005(2 * 10^{-5})$ newton/metri² e corrisponde grossomodo alla soglia di udibilità a 1000 Hz. Spesso lo SPL si misura anche in decibel (dB) (figura 6).

L'orecchio è più sensibile a certe frequenze che ad altre. La miglior regione uditiva è quella compresa tra 2700 Hz – 3200 Hz (tipicamente le frequenze della voce umana). I meccanismi con cui l'orecchio percepisce le *variazioni nel tempo* sono piuttosto complessi, fra i quali si trovano:

- *Rivelatore del periodo*: opera sulla precisa struttura del segnale rappresentato nel sistema nervoso. Nel caso di periodi troppo corti essi non possono essere rilevati sufficientemente in fretta.
- *Rivelatore di inviluppo*: è un sistema che rivela le modulazioni di ampiezza di un segnale di velocità compresa tra circa 75 Hz – 500 Hz.

- *Cellule per gli eventi*: sono cellule che rispondono ad eventi acustici separati da almeno 20 – 50 ms; altrimenti interpretano gli eventi separati come uno solo.

La *frequenza* invece, è invece mappata sulla membrana basilare: in altre parole, ad una determinata frequenza corrisponde un punto della membrana. Tipicamente, alle frequenze gravi corrispondono zone più interne della membrana; proprio per questo i suoni gravi ci sembrano più interni. C'è un limite nella risoluzione di frequenza dell'orecchio; tale limite è noto come *banda critica*. Se due frequenze sono all'interno di tale banda, verranno prima percepite come *dissonanti*, fino a divenire una sola frequenza.

2.3 Percezione del timbro e del rumore

Come l'uomo percepisce le frequenze, così può percepire il *rumore*. Ciò accade perché il realtà il rumore ha spettro *piatto* ovvero in esso sono presenti tutte le frequenze. Da ciò si deduce che un rumore stimola contemporaneamente tutte le zone della membrana basilare. In realtà, esistono varie tipologie di rumore. Quello a cui ci siamo riferiti è detto rumore bianco ed è molto raro in natura, ma si conoscono altre colorazioni (ad esempio rosa e marrone) che sono meno complessi e si avvicinano di più ai rumori naturali. Per ciò che riguarda la percezione del *timbro*, infine, è possibile affermare che esso si crea attraverso il fenomeno di fusione delle varie componenti frequenziali di un suono. Tale fenomeno si verifica maggiormente se le componenti sono armoniche ma è possibile crearlo anche su spettri non armonici. Si noti tuttavia che in uno spettro armonico, la fusione delle armoniche superiori ci aiuta nella percezione della frequenza fino a farci udire una frequenza fondamentale che in realtà non esiste. Tale fenomeno è noto come *fondamentale mancante*.

3 Ascoltare il mondo

3.1 Il paesaggio sonoro

Come conclusione del viaggio intrapreso, che è partito dall'interno del suono ed è arrivato al rapporto tra l'uomo ed il suono, è bene presentare un concetto nato abbastanza di recente noto col nome di *paesaggio sonoro* per allargare così ulteriormente i nostri orizzonti fino a giungere al *rapporto tra il suono ed il mondo*. Il suo creatore, R. Murray Schafer, ne parla in questi termini:

Il paesaggio sonoro del mondo sta cambiando. L'universo acustico in cui vive l'uomo moderno è radicalmente diverso da ogni altro che l'ha preceduto. Suoni e rumori nuovi, di qualità e intensità diversa dai suoni e dai rumori del passato. Sono stati più volte sottolineati i pericoli legati alla diffusione indiscriminata e imperialistica di un numero sempre maggiore di suoni - e sempre più potenti - in ogni angolo della nostra vita. L'inquinamento acustico rappresenta oggi un problema mondiale e il paesaggio sonoro sembra avere ormai raggiunto il massimo della volgarità. Secondo molti autorevoli esperti, se questo problema non verrà rapidamente preso in considerazione, il punto di arrivo sarà una sordità universale.

3.2 Il lo-fi della rivoluzione industriale

Uno dei principali concetti espressi da Schafer è quello di *lo-fi*: low-fidelity, un mondo a bassa qualità, nato con la rivoluzione industriale. Ancora la parola all'autore:

Il paesaggio sonoro lo-fi nasce dalla congestione sonora. La rivoluzione industriale introdusse moltissimi suoni nuovi, che ebbero conseguenze disastrose per molto dei suoni dell'uomo e della natura, che finirono con l'esserne oscurati³.

Schafer si spinge anche oltre, affermando l'equazione rumore=potere: l'impoverimento acustico del mondo cioè ha anche una valenza sociologica. L'alienazione derivante dai rumori della fabbrica è uno strumento di controllo e di potere. Un altro concetto molto interessante introdotto da Schafer è quello riguardante la *linea retta*: prima dell'introduzione delle macchine tutti i suoni avevano carattere impulsivo; mentre con le macchine nascono suoni costanti assimilabili a lineerette, che mutano radicalmente il panorama acustico a cui era abituato l'uomo.

3.3 La rivoluzione elettrica e la schizofonia

La rivoluzione elettrica accentua molti dei temi già presenti nella rivoluzione industriale, aggiungendovi inoltre alcuni nuovi effetti suoi propri⁴.

³[6], pag. 105

⁴[6], pag. 129

Con la rivoluzione elettrica si afferma una frequenza stabilita per le linee rette introdotte dalla rivoluzione industriale: 50 Hz. Questa frequenza è quella emessa da tutti gli elettrodomestici che ci circondano e a cui siamo ormai abituati. L'inquinamento da 50 Hz è in realtà una delle forme di inquinamento più diffuse. Soprattutto però, la rivoluzione elettrica introduce uno degli elementi che maggiormente caratterizzano la nostra epoca: la *schizofonia*, ovvero la dissociazione tra suono e loro contesto originale. Ciò si è verificato a causa della trasmissione elettroacustica e alla riproducibilità del suono mediante supporti idonei. Non è un caso che il primo impianto hi-fi nascesse proprio quando stava cominciando il mondo a bassa fedeltà.

3.4 Il silenzio

Come logica conclusione a tutte le idee esposte da Schafer non può che esservi una *rivalutazione positiva del silenzio*:

L'uomo ama produrre suono per ricordarsi che non è solo. L'uomo rifiuta il silenzio totale. Ha paura della mancanza di suoni, così come ha paura della mancanza di vita. Poiché il silenzio definitivo è quello della morte, è nelle ceremonie commemorative che il silenzio raggiunge la sua dignità più alta⁵.

Egli esorta invece a ricercare un silenzio carico di positività. Un silenzio mezzo per la meditazione; unico strumento in grado di ripristinare l'ordine nel mondo e allontanare così la disfatta dello spirito:

Per poter sperare di riuscire a migliorare il design acustico del mondo, dovremmo prima ritrovare una concezione del silenzio come concezione positiva della vita. Placare il tumulto delle menti: ecco il primo compito. Tutti gli altri verrano in seguito⁶.

⁵[6], pag. 353

⁶[6], pag. 356

Riferimenti bibliografici

- [1] C. E. Cellà, *Il compositore cieco*, Contemporara 2002, atti del convegno.
- [2] C. E. Cellà - F. Paolinelli, *Sintesi per stati e visualizzazione del processo compositivo*, La Terra Fertile - atti, pp. 87 - 89, 2000.
- [3] D. Gabor, *Acoustical quanta and the theory of hearing*, Nature 159 (1044), 591 - 594, 1947.
- [4] M. Helmuth, *Multidimensional Representation of Electroacoustic Music*, JNR, Vol. 25 (1996), pp. 77 - 103.
- [5] C. Roads, *The computer music tutorial* 4° ed., MIT Press, 1999.
- [6] R. M. Schafer, *Il paesaggio sonoro*, RICORDI LIM, 1985.

Elenco delle figure

1	Rappresentazione ampiezza/tempo	3
2	Rappresentazione ampiezza/frequenza	4
3	Campionamento	5
4	Approssimazione nel campionamento	6
5	L'orecchio dell'uomo	12
6	Grafico SPL	13

Indice

1 Costruire il suono	1
1.1 Non c'è una risposta	1
1.2 Elementi di teoria dei segnali	2
1.3 Rappresentazione digitale dei segnali	4
1.4 Cenni sulla sintesi del suono	6
1.5 La sintesi additiva	8
1.6 Tecniche di DSP	9
1.7 Composizione assistita dal calcolatore	10
2 Percepire il suono	11
2.1 L'orecchio umano	11
2.2 Intensità, variazioni nel tempo, frequenza	13
2.3 Percezione del timbro e del rumore	14
3 Ascoltare il mondo	14
3.1 Il paesaggio sonoro	14
3.2 Il lo-fi della rivoluzione industriale	15
3.3 La rivoluzione elettrica e la schizofonia	15
3.4 Il silenzio	16
Bibliografia	17
Elenco delle figure	18
Indice	19