

Lo strumento virtuale. Implicazioni teoriche e pratiche nell'uso dei modelli fisici

Lorenzo Seno

Centro Ricerche Musicali
Via Lamarmora, 18 - 00185 ROMA
lorenzo.seno@bigfoot.com

Abstract

L'intervento presenta le linee di fondo della Ricerca sulla sintesi per modelli fisici presso il CRM, nel quale l'obiettivo prioritario è l'esplorazione di nuovi orizzonti sonori, adiacenti o meno che essi siano alle timbriche degli strumenti acustici, in modo da fornire ai compositori i mezzi per ottenere nuove timbriche e nuovi modi espressivi. E' questo un approccio diverso da quello prevalente sul tema dei modelli fisici, il quale si è finora piuttosto proposto di ottenere una migliore "riproduzione" con mezzi elettronici degli strumenti tradizionali. Vengono inoltre presentate le differenze fondamentali nell'uso musicale tra i modelli fisici e i più tradizionali modelli di segnale (sintesi additiva, sottrattiva, FM, ecc.). Con i modelli fisici (secondo l'approccio utilizzato al CRM), si hanno a disposizione, infatti, parametri tempo-variabili in diretta relazione con quelli dell'oggetto fisico responsabile della generazione del suono. I musicisti possono così realizzare condizioni di emissione e controllo del suono "irrealizzabili", continuando però a restare nell'ambito di modalità intuibili o immaginabili in una rappresentazione mentale "fisica" dell'oggetto concreto, anziché astrattamente del segnale (suono) stesso. Il modello di strumento ad arco sviluppato al CRM è stato utilizzato dal compositore Michelangelo Lupone per la composizione del quartetto "Corda di metallo" (Kronos Quartet, Roma, 1997).

1 La Mediateca di Babele

"...In realtà, la Biblioteca include tutte le strutture verbali, tutte le variazioni permesse dai venticinque, simboli ortografici, ma non un solo nonsenso assoluto. [...] Parlare è incorrere in tautologie. Questa epistola inutile e verbosa già esiste in uno dei trenta volumi dei cinque scaffali di uno degli innumerabili esagoni — e così pure la sua confutazione...".

Con queste parole Jorge Luis Borges descrive la sua *Biblioteca di Babele*, luogo in cui sono raccolti tutti i volumi possibili (tanti, ma finiti) composti da tutte le possibili sequenze dei venticinque caratteri dell'alfabeto. Borges muove dalla considerazione che il numero di tutte le opere scritte possibili, anche se enorme, è comunque finito, e quindi la *Biblioteca*, come raccolta di singoli volumi, è un luogo almeno pensabile.

Quanti sono tutti i libri possibili? E quanti sono, tutti i suoni possibili? In entrambi i casi tanti, troppi, molto oltre la capacità di immaginazione di quell'oggetto peraltro molto complesso che è la mente dell'uomo, intesa sia in senso individuale che collettivo.

Sulle tracce della *Biblioteca di Babele* potremmo provare però ad immaginarlo, almeno parzialmente, questo universo di tutti i suoni possibili (e quindi, di tutte le musiche possibili). Se i tomi della grande biblioteca sono però in numero finito, a causa della finitezza degli alfabeti, lo stesso non si può dire, in linea di massima, dei suoni. Se si immaginano o il tempo o la pressione sonora, o tutti e due, come continui, il numero di suoni possibili anche di durata limitata (immaginiamo, un secondo) è infinito. Non che questo

renda l'universo di tutti i suoni possibili, un oggetto impensabile, ma dato che esso avrebbe l'infinità del continuo, ci sarebbe una certa difficoltà ad immaginarlo come una collezione di - che so - nastri, dischi, o CD. A chi se ne intende, dirò che si cadrebbe nel tritello del procedimento diagonale di Cantor.

Il progresso della tecnica ci viene però incontro: nell'era dell'audio digitale, sia il tempo che le ampiezze sono discrete. Per restare a standard noti: 44.100 campioni al secondo, e 65.536 ampiezze diverse (16 bit). Questo rende non solo numerabile, ma addirittura finito il numero di suoni di qualsivoglia lunghezza.

Potremmo quindi concepire una *Biblioteca di tutte le musiche possibili nello Standard CD-Audio*, pensandola come il luogo nel quale siano raccolte tutte le sequenze sonore lunghe da pochi campioni fino ad un'ora (più o meno, il contenuto di un CD). Per distinguerla da quella di Borges, la chiameremo, più propriamente, *Mediateca*. Essa conterrebbe molti più CD di quanto la Biblioteca contenga volumi.

Non si pensi però che la limitazione nella durata introduca limiti di natura fondamentale, escludendo dalla Biblioteca, che so, un'opera di Wagner, o la prossima che avete in animo di comporre o che state componendo, solo perché sono più lunghe di un'ora. Qualsiasi opera di qualsiasi durata sarebbe, infatti, ottenibile per semplice giustapposizione di un numero finito di quelle già presenti nella Biblioteca. Anche la più sofisticata delle spazializzazioni a 24 canali sarebbe già lì dentro: le 24 sequenze sonore necessarie sono già lì presenti. E' facile a questo punto verificare, quindi, come la *Mediateca* non solo contenga ogni o-

pera musicale passata presente e futura, ma anche ogni possibile esecuzione, versione e variazione, anche minima (anche in un singolo campione) di ogni opera. Prima di farci spaventare da quest'entità che sembrerebbe capace di annichilire d'un colpo il senso dell'onorata (e millenaria) professione di musicista, proviamo a gettare qualche ulteriore sguardo sul suo brulicante contenuto. Anzitutto, quanti sarebbero i suoi brani? Presto detto: sono tutte le possibili sequenze di 65.536 valori lunghe da diciamo 1 a 44.100 x 3.600 campioni. Con l'ausilio di semplici programmi di calcolo, otteniamo il fatidico numero:

$$8,7 \cdot 10^{537.450}$$

In poche parole, un numero con 537.450 zeri.

Anche le sequenze di un solo secondo di durata sono un numero piuttosto fuori dell'ordinario. Si tratta di "solo":

$$1,5 \cdot 10^{304.349}$$

Un numero di diversi zeri più piccolo del precedente, ma così ragguardevole che, per ascoltarle tutte, queste sequenze, non basterebbe un tempo pari a diverse volte l'età dell'Universo.

A prima vista, dunque, la minacciosa *Biblioteca* sembra essere del tutto irrealizzabile, e qualche musicista potrebbe sentirsi autorizzato a tirare una sorta di sospiro di sollievo. Non è così, o almeno non ancora. Infatti, non tutti questi suoni avrebbero il diritto di comparire in una mediateca musicale. La stragrande maggioranza di essi non sarebbe, infatti, che rumore bianco (quanti? Un giorno, con più tempo e maggiore ispirazione, proverò a calcolarli). Altri sarebbero rumore rosa, o marrone, o qualcuna delle altre infinite sfumature di colore del rumore.

Vi sarebbero inoltre innumerevoli quantità di "copie" della stessa sequenza, salvo differenze matematicamente insignificanti, come ad esempio uno o più campioni poco o tanto differenti. Infine, ci sarebbero molte copie a differenti volumi di esecuzione, o con equalizzazioni diverse, e così via. Infine, ci sarebbero molte copie con differenze inaudibili e altre con differenze insignificanti dal punto di vista musicale (con tutto ciò che di storico, contingente e formalmente arbitrario tutto ciò comporta). Difficile fare quindi il conto di quante siano, alla fine, le opere "significativamente" differenti.

Si può però affermare con ragionevole certezza che ne resterebbero lo stesso tante, sempre troppe per essere ascoltate tutte in un solo "giro" d'universo.

Inutile inoltrarsi ancora in questa cabala di quantità più che astronomiche. Contentiamoci di avere trovato un modo diverso di rappresentare "il problema della composizione", se così vogliamo chiamarlo. Quello, cioè, di "scegliere", "trovare", "inventare" (dal latino *invenire* = trovare) tra tutte le sequenze sonore possibili quelle che interessano.

L'enorme, inascoltabile, mole di tutte le opere possibili ci impedisce di pensare al compositore come ad un paziente frequentatore della *Mediateca*, un indefesso ascoltatore che "sceglie" tra il materiale sonoro. Se co-

si fosse, le composizioni musicali (di valore) sarebbero un evento ancora più raro di quanto già non siano. Dunque il compositore è qualcuno che, per continuare nella metafora, deve procurarsi degli strumenti per sapere quali rami della *Mediateca* vale la pena di visitare. Deve, in altre parole, avere degli strumenti per delimitare il campo, ridurre la selezione basata sull'ascolto ad un'attività breve, umana, fattibile.

C'è bisogno di dire, a questo punto, che questi strumenti sono tutto, e la *Mediateca* è niente?.

Ad un gradino basso di questi strumenti, il cui compito è, nella nostra metafora - ricordiamo - quello di restringere l'orizzonte delle scelte possibili, ci sono le tecniche e i modi con cui il suono viene generato (con cui la *Mediateca* viene visitata). Fino ai primi del secolo ci si limitava fondamentalmente alla 12 note, e ai timbri degli strumenti, il che è una restrizione piuttosto drastica. Non chiedetemi di fare il conto, ma le sequenze di ottantotto note, con tutte le varianti ritmiche, polifoniche e timbriche che volete, della durata fino ad un'ora, sono enormemente di meno delle sequenze della *Mediateca*. Sempre troppe, probabilmente, per poter essere ascoltate tutte in tempi umani (nell'età dell'universo, non saprei, bisognerebbe fare il conto).

Oggi la *computer music* mette a disposizione degli strumenti di tutt'altra natura, che rischiano di aprirci d'improvviso troppe strade, troppi corridoi della *Mediateca*. Si tratta delle tecniche di sintesi (a livello "basso"), anche se non solo di questo: ci sono anche le tecniche di composizione (livello "alto"), ma questo è un altro discorso, ancora più ampio.

Le tecniche di sintesi fino ad oggi adottate sono basate su modelli di segnale. Ad esempio, la sintesi additiva, quella sottrattiva, quella a modulazione di frequenza e di ampiezza. Con esse, il segnale sonoro desiderato viene costruito a partire da segnali elementari, combinandoli algebricamente. I musicisti che compongono direttamente il suono (ovvero la musica anche nelle sue microstrutture) usano spesso un mix di tutte le tecniche.

Con le tecniche di segnale è possibile, almeno virtualmente, costruire *qualsiasi* suono: basta gestire opportunamente i relativi parametri (ampiezze, frequenze di modulanti e di modulate, frequenze sommate, caratteristiche dei filtri, involuppo e forme d'onda elementari, ecc.). In altre parole, la tecnica di costruire segnali a partire da segnali, o se volete, suoni a partire da suoni, ci lascia completamente liberi di muoverci nello spazio infinitamente dimensionale di *tutti i suoni possibili*, di visitare tutti gli angoli della *Mediateca*. Non che queste tecniche siano "neutre". Anch'esse restringono l'orizzonte: certe cose, infatti, sono facili da ottenere, altre meno, altre sono difficilissime. Ma, almeno in linea di principio, è solo una questione di pazienza.

Con gli strumenti tradizionali, acustici, le cose non stanno così, come noto. E' sempre possibile inventare un nuovo strumento, ma una volta ciò fatto, è la "fisi-

cità" stessa dell'oggetto a delimitare il possibile campo sonoro. Anche qui, occorre diffidare dalle facili ed eccessive generalizzazioni e semplificazioni. La storia degli strumenti musicali, soprattutto quella recente, dimostra come l'universo timbrico e sonoro di uno strumento non sia mai completamente esaurito, e spesso è storicamente determinato. C'è sempre qualcosa da scoprire, magari usando tecniche di emissione e controllo fuori dell'ordinario, come usare un archetto per suonare un piatto, o una mazza da timpani per suonare direttamente le corde di un pianoforte. Al di là di questo, un oggetto fisico presenta però limiti invalicabili, di natura teorica e pratica. Chi costruisce strumenti del mondo reale, è legato a determinate scelte (per esempio, di materiali, di forme, di dimensioni) per ragioni extramusicali, economiche, di reperibilità, di fattibilità tecnica. Non ci sono grandi difficoltà a suonare le corde di un pianoforte con una mazza da timpani, ma avremmo delle difficoltà insormontabili (pratiche) se volessimo tirarle con un arco da violino. Ci sono poi cose ancora più fondamentali, come l'impenetrabilità dei corpi, la conservazione della materia, ecc.

Non è così, se lo strumento è "virtuale", se cioè è un modello matematico di strumento, come avviene con la sintesi per modelli fisici.

2 La Sintesi per modelli fisici

La sintesi per modelli fisici si basa sulla costruzione di un modello matematico dell'oggetto emettitore del suono (lo strumento musicale, sia pure in un senso molto ampio del termine) e sul calcolo (possibilmente in tempo reale) del moto vibratorio di tale oggetto nelle condizioni di vincolo e di sollecitazione stabilite dal musicista.

Dato che abbiamo un modello di oggetto (supponiamo, una corda, un tubo, o un piatto metallico), l'insieme dei suoni producibili è fortemente ristretto, esattamente come nella realtà. Ma adesso abbiamo un vantaggio: possiamo superare molti ostacoli pratici e perfino certe leggi fisiche. Quindi, se qualitativamente parlando siamo soggetti a vincoli dello stesso tipo ai quali sono sottoposti gli strumenti acustici, abbiamo però molti sentieri e strade in più da percorrere. Possiamo provare, ad esempio, a suonare la corda del pianoforte con l'archetto, ma anche a cambiare il materiale con cui è fatta mentre suona: possiamo "glissare" da budello a acciaio perfetto, passando per tutte le gradazioni intermedie.

Se si vedono le cose in questo modo, la sintesi per modelli fisici, probabilmente nata per carpire agli strumenti acustici i loro segreti e riprodurli elettronicamente in modo fedele, può diventare, a nostro avviso, interessante per la composizione. Si possono aggiungere nuovi strumenti alle famiglie esistenti (come nel nostro caso, *Corda di metallo*, che è uno strumento virtuale della famiglia degli archi), o inventare strumenti completamente nuovi.

Se si vuole dare qualcosa al compositore, però, bisogna permettergli di esplorare "oltre", di variare cioè quello che in natura sarebbe fisso, e di sperimentare tecniche esecutive "infattibili".

3 Un esempio: Corda di metallo

Stiamo dipingendo il ritratto di *Corda di metallo*. Cos'è, *Corda di metallo*? E' un algoritmo (che si è incarnato in un programma per computer della classe Pentium) di sintesi per modelli fisici di strumenti ad arco, che è stato sviluppato al CRM da Marco Palumbi e da me.

L'algoritmo deve il suo nome all'omonima opera per quartetto d'archi, nastro magnetico e dispositivo di spazializzazione di Michelangelo Lupone (Kronos Quartet, Roma, 1997) opera per la quale è stato utilizzato. In questo caso, il compositore era interessato alla timbrica "metallica" dello strumento, ma con l'algoritmo si possono ascoltare corde di qualsivoglia materiale, dal più sordo (legno, gomma?) fino all'acciaio più risonante, prossimo allo zero assoluto.

Cosa può fare un compositore con *Corda di metallo*? Può usare uno strumento a corda suonato con l'archetto, ma può scegliere di fare, oltre ai gesti usuali dello strumentista, *altri* gesti esecutivi. Può quindi premere con maggiore o minore forza e velocità l'archetto, scegliere il punto dove posarlo (più al tasto o più al ponte), scegliere quale nota emettere: in una parola, quelli cioè che abbiamo chiamato *gesti abituali*. Ma può inoltre scegliere il tipo di corda (gomma, budello, acciaio, acciaio "ideale", con tutte le gradazioni intermedie), in che tipo di mezzo acustico si muove la corda (vuoto, elio, aria, acqua, olio, ecc.). Può quindi ascoltare il suono della corda nel vuoto (nella realtà, lo strumento non suonerebbe affatto), e scegliere anche quanto sia ruvido il suo archetto.

Non si tratta solo di scegliere tutti questi che in gergo si chiamano "parametri": esiste anche la possibilità di variarli con continuità mentre lo strumento suona. In altre parole, è possibile fare glissare tutto, non solo l'altezza della nota, ma anche il materiale costitutivo della corda.

A questo si deve aggiungere la circostanza ovvia che, trattandosi di un programma di calcolo, lo strumento non soffre delle limitazioni fisiologiche del suo esecutore. E' quindi possibile fare evolvere tutti i parametri in un modo che nessuno strumentista potrebbe mai eseguire con la stessa velocità, ampiezza e precisione.

Si possono quindi ottenere articolazioni del tutto impossibili, come già Chris Chafe ha mostrato nel 1989 utilizzando un modello diverso.

4 Conclusioni

Dopo avervi fatto ascoltare gli esempi musicali di *Corda di metallo*, non resta che concludere con alcune brevi precisazioni.

Il modello per ora non gira ancora in tempo reale (è un peccato, sarebbe uno strumento eseguibile, una volta risolto il problema delle adeguate interfacce), o alme-

no, un sistema con un Pentium 266 ancora non è sufficiente. Crediamo però che un Pentium 400 MHz (appena uscito) possa eseguirlo in tempo reale, ma ancora non è stata effettuata una prova. Non sono volutamente entrato in molti dettagli tecnici, ma nel presentare la tecnica dei modelli fisici è opportuno precisare che la filosofia di fondo del CRM, quella cioè di lavorare avendo come obiettivo prioritario la musica contemporanea, e non l'industria degli strumenti musicali, è crediamo molto peculiare, se non unico nell'orizzonte della ricerca musicale. Questa diversa filosofia ha riflessi anche sul modo specifico in cui il problema della simulazione è stato affrontato e risolto. La tecnica da noi usata non fa uso di linee di ritardo e di guide d'onda, e permette senza problemi di variare tutti i parametri di simulazione.

La possibilità che la simulazione per modelli fisici rappresenti qualcosa di interessante ed utile per i compositori contemporanei è legata essenzialmente, a nostro giudizio, da quanto lavoro sarà sviluppato nelle direzioni qui indicate, anche da altri centri di ricerca, e verso altri tipi e famiglie di strumenti, compresi, come dicevamo, strumenti e famiglie non esistenti nella realtà.

L'importante, noi crediamo, è che questo lavoro sia guidato dal desiderio di scoprire nuovi mezzi e materiali musicalmente interessanti, invece che da puri scopi imitativi.

In questo, lo stimolo e la guida dei musicisti e dei compositori sono essenziali. E' per questo motivo che giudichiamo della massima importanza che le scoperte e le invenzioni della ricerca musicale siano messe a conoscenza dei musicisti il più presto possibile, in modo che essi possano contribuire fin dall'inizio al loro sviluppo.

Bibliografia

- Karplus, K., Strong, A. 1983. *Digital Synthesis of Plucked String and Drum Timbres*. CMJ 7,2 pp.43-55
- Jaffe, D.A., Smith, J.O. III 1983. *Extension of the Karplus-Strong Plucked-String Algorithm* CMJ 7,2 Summer 1983
- Chafe, C. 1989 "Simulating Performance on a Bowed Instrument." *Current Directions in Computer Music Research* - Edited by Matew, M. and Pierce, J. MIT Press 1989
- Florensm J-L., Cadoz, C. 1991. "The Physical Model: Modeling and Simulating the Instrumental Universe" *Representation of Musical Signals* edited by De Poli, G., Piccialli, A., Roads, G. MIT Press ISBN 0-262-04113-8 (hc) pp. 227-268.
- Borin, G., De Poli, G, Sarti, A. 1992. *Algorithms and Structures for Synthesis Using Physical Models*. CMJ, 16,4 Winter 1992
- Woodhouse, J. 1992. *Physical Modeling of Bowed Strings* CMJ, 16,4, pp. 43-56
- Smith, J.O. III 1996. *Physical Modeling Synthesis Update*. CMJ, 20,2, Summer 1996 pp.44-56

Smith, J.O. III 1996. "Discrete Time Modeling of Acoustic Systems with Applications to Sound Synthesis of Musical Instruments." *Proceedings of the Nordic Acoustical Meeting*, Helsinki, June 12-14 (<http://www.hut.fi/TKK/Akustiikka/aku/man96/>)

M.Palumbi, L.Seno, *Metal String*, Textes des communications JIM98 - LMA-CNRS

(<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/9826/publicat.htm>)