

UN PROGETTO DI SINTESI SONORAIL P I A N O F O R T E

Nello scorso numero di Laboratorio Musica Mauro Graziani ha esaminato la struttura del suono del pianoforte, dissociandolo nelle sue componenti parziali ed evidenziandone alcune importanti caratteristiche. Ora invece consideriamo la strada opposta, cioè la sua sintesi mediante l'ausilio di un elaboratore elettronico.

Il primo passo da compiere consiste nell'analisi dettagliata del comportamento del suono fisico, dall'involuppo spettrale e dalle sue variazioni dipendenti dalla frequenza, intensità, attacco, a quell'insieme di fenomeni, chiamati transitori, che si manifestano nei primi 50 millisecondi di suono e che sono importantissimi per il riconoscimento timbrico da parte del nostro sistema uditivo.

Da questa indagine emergono subito alcuni dati abbastanza interessanti; per esempio ogni nota del pianoforte ha un contenuto spettrale diverso dalle altre e tanto più ricco quanto più la frequenza scende verso il grave. La figura I mostra infatti i quattro spettri corrispondenti a quattro note a distanza di ottava. Inoltre lo stesso spettro varia molto in funzione del modo di produzione del suono e anche del tocco del pianista, che può essere delicato, pieno, aspro, sonoro, sfumato, e così via. Le frequenze delle parziali non sono poi completamente intonate: sebbene il timbro del pianoforte sia di solito definito "armonico", in realtà l'andamento delle componenti non è lineare, bensì tende a crescere in funzione del numero di parziali, assumendo un profilo di tipo esponenziale, come è possibile osservare in

figura 2: se le parziali fossero intonate il grafico seguirebbe la linea tratteggiata.

Queste piccole deviazioni dalla norma possono sembrare inezie, particolari insignificanti nell'insieme dei dati che definiscono il suono: in realtà è proprio grazie a questi "errori" rispetto al modello ~~di comportamento esattamente matematico~~ <sup>elementare</sup> che danno interesse al suono, permettendo per esempio la distinzione non solo dei vari tipi di pianoforte, ma anche del tocco del singolo pianista rispetto a un altro e rendendo il suono naturale così peculiare e interessante.

Una volta in possesso quindi di tutti i dati necessari e possibilmente delle leggi matematiche, con i relativi "errori", che regolano le loro variazioni bisogna scegliere il sistema di sintesi più adatto quello cioè che meglio riproduce i dati in nostro possesso.

Uno dei più noti, certamente il più fedele, è conosciuto col nome di "sintesi additiva". Il principio di funzionamento è semplicissimo: abbiamo visto che ogni suono del pianoforte ha un suo inviluppo e contenuti spettrali. Se per esempio esaminiamo lo spettro del <sup>sotto il Do</sup> SolVcentrale (fig. 1c) è possibile riprodurre ogni sinusoidale parziale di questa nota specificandone esattamente intensità, frequenza, fase e inviluppo di ampiezza: proprio simulando quanto emerge dai dati fisici. Questo sistema di sintesi è quindi fedele, ma presenta non pochi inconvenienti: ogni sinusoidale parziale è considerata dall'elaboratore come una vera nota, sicchè per produrre una nota reale di pianoforte occorrono tante note sintetiche quante sono le componenti parziali di ogni suono. Inoltre, dovendo specificare molti parametri per ogni

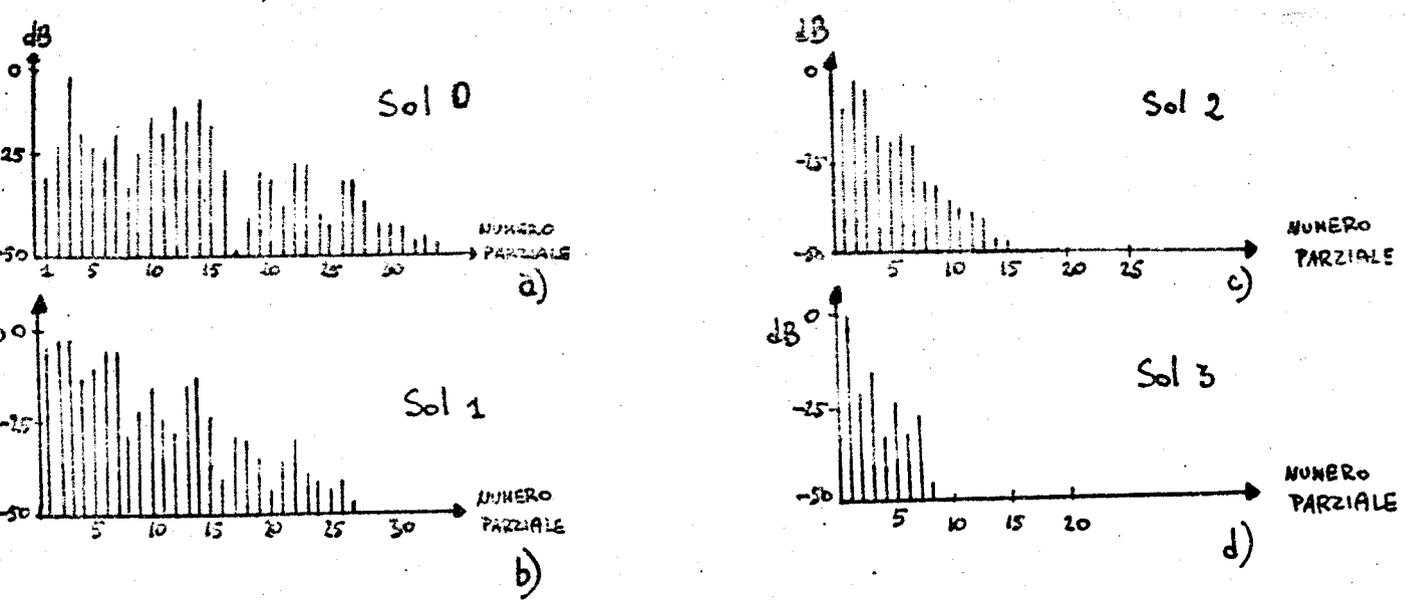
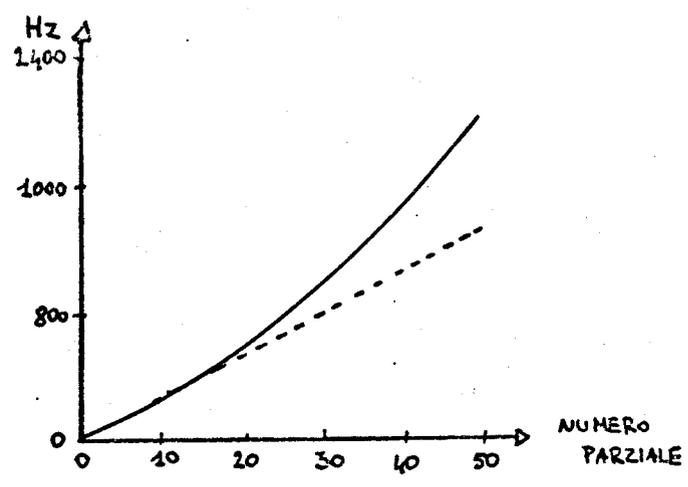


Figura 1



Inarmonicit  di un LA-1  
di un pianoforte  $f = 27,50 \text{ Hz}$

Figura 2

parziale, è sì possibile controllare il suono fin nei minimi particolari, ma bisogna fornire una massa imponente di dati che richiede molto tempo per essere definita e calcolata. Se poi si devono tener presenti anche parametri a più alto livello, che condizionano cioè tutti i dati sonori sottostanti, quali il transitorio di attacco e il decadimento, l'influenza del martelletto che batte sulle corde a varie velocità, dello smorzatore eventualmente impiegato ( o del pedale forte che ne permette l'evoluzione libera e la risonanza degli armonici), e la presenza di due o tre corde, con relativa stonatura ( per non parlare delle diversità di tocchi!), risulta che per esempio in un secondo di suono della nota in figura 1c il periodo e la forma d'onda ( e quindi i dati che ne regolano l'evoluzione) cambiano circa 250 volte! E ~~questo~~ solo per <sup>questo</sup> Sol ~~centrale~~, chè ogni altro suono si comporta diversamente e senza seguire in genere leggi semplici ( cfr. gli spettri di fig.I). Si comprende quindi come i vantaggi di una perfetta riproduzione timbrica si paghino con un tempo di lavoro spropositatamente lungo e con un costo di calcolo eccessivo. Tanto più che è stato dimostrato ( CCRMA, Univ. Stanford) che per alcune funzioni l'orecchio umano non percepisce la differenza tra l'esatta riproduzione e una sua approssimazione. Convienne quindi esaminare altri sistemi di sintesi, cercando quello che meglio possa approssimarsi alle caratteristiche del suono del pianoforte e che sia allo stesso tempo più economico, anche se questo significa necessariamente la generalizzazione di alcuni processi a scapito dei loro dettagli, col vantaggio di una maggiore velocità e semplicità.

Si può tentare mediante "sintesi sottrattiva", cioè partire da un suono molto ricco di armonici e sottrarne (=eliminarne) i superflui con un banco di filtri, per conservare soltanto quelli voluti, un pò come uno scultore da un blocco di marmo grezzo ricava scolpendolo una statua.

Un altro sistema frequentemente usato è chiamato "distorsione non lineare" e consiste nel modificare ( distorcere) una data forma d'onda, mediante un'apposita funzione, in modo da farle assumere i contorni di un'onda in questo caso di pianoforte.

Uno dei metodi più potenti per la grande versatilità e la molteplicità di impieghi cui si presta è la cosiddetta "modulazione di frequenza". Essendo una delle tecniche di sintesi più usate, è utile esaminarne a grandi linee i principi di funzionamento.

Quando sentiamo una successione di glissandi ascendenti e discendenti, come per esempio quelli di uno strumento ad arco, siamo in presenza di una variazione continua di frequenza dovuta in questo caso all'azione della mano sinistra dello strumentista. E' possibile riprodurre sinteticamente questo fenomeno con due oscillatori, di cui uno vibra alla frequenza base ( detta frequenza portante) e l'altro invece simula l'agente che fa variare detta frequenza ( frequenza modulante). Se per esempio l'ampiezza del glissando è molto piccola ( meno di un semitono) e la sua velocità abbastanza elevata (circa 6 Hertz) si ottiene nientemeno che il vibrato.

Ma se la velocità di variazione aumenta tanto che la successione di glissandi non sia più avvertibile come tale dal nostro orecchio,

cioè se assume valori audio ( da ca. 20 Hz in su), l'effetto che ne risulta è quello di un timbro complesso, formato da più componenti e variabile a seconda della velocità della modulante in rapporto con la portante; tale rapporto definisce le potenziali componenti spettrali del suono, per esempio se il timbro è armonico o inarmonico, se ha componenti pari o dispari, ecc. Ritornando all'esempio del glissando, l'intervallo massimo di glissando è proporzionale al cosiddetto indice di modulazione che stabilisce l'ampiezza e il numero delle componenti spettrali del suono. Cambiando quindi solo il valore dell'indice lo spettro cambia.

La formula matematica che esprime la modulazione di frequenza è la seguente:

$$x(t) = A \sin(2\pi p t + I \sin 2\pi m t)$$

dove:  $p$  = frequenza portante

$m$  = frequenza modulante

$A$  = ampiezza

$I$  = indice di modulazione

$x(t)$  = segnale in uscita

Risolvendo tale equazione e conoscendo i valori di  $p, m, A, I$  è possibile determinare lo spettro del segnale in uscita. Percorrendo a ritroso il cammino, se conosciamo le leggi di variazione dei parametri di un suono nel tempo si possono definire per  $p, m, A, I$  dei valori opportuni che simulino l'evoluzione timbrica del suono in esame: è quanto ci serve ancora per sintetizzare il suono del pianoforte.

Siamo quindi giunti allo stadio finale del processo: definiti i

parametri fisici e scelto il sistema di sintesi più conveniente, non rimane che tradurre tutto ciò in istruzioni operative, effettivamente eseguibili da un sistema di calcolo, e di cui si possa ascoltare il risultato sonoro. A quest'ultimo stadio sarà dedicato il prossimo articolo.

Vale infine la pena di chiarire il senso di questa operazione che coinvolge il problema più generale della sintesi sonora: da un punto di vista scientifico simulare il suono di uno strumento tradizionale significa avere un termine di confronto concreto che dimostri la bontà e l'efficacia del modello fisico-matematico inventato, offrendo a tutti la possibilità di una verifica diretta.

Il musicista invece non è in genere sensibile al principio della dimostrazione e afferma giustamente che un pianoforte reale suonerà sempre meglio di un pianoforte sintetico. Ma non si rende conto che per simulare il pianoforte si è dovuto affrontare il problema della sintesi in modo globale, passando attraverso vari stadi, come abbiamo cercato di descrivere, a grandi linee, in quest'articolo, e creando uno strumento molto più potente del pianoforte stesso.

Partendo quindi da modelli conosciuti, di cui sia possibile dimostrare la correttezza, il musicista può in un secondo tempo iniziare la propria ricerca compositiva, alla scoperta di nuovi strumenti e di nuovi mondi sonori.

Marco Stroppa