

**ATTI DEL 3° COLLOQUIO
DI INFORMATICA MUSICALE**

UNIVERSITA' DI PADOVA

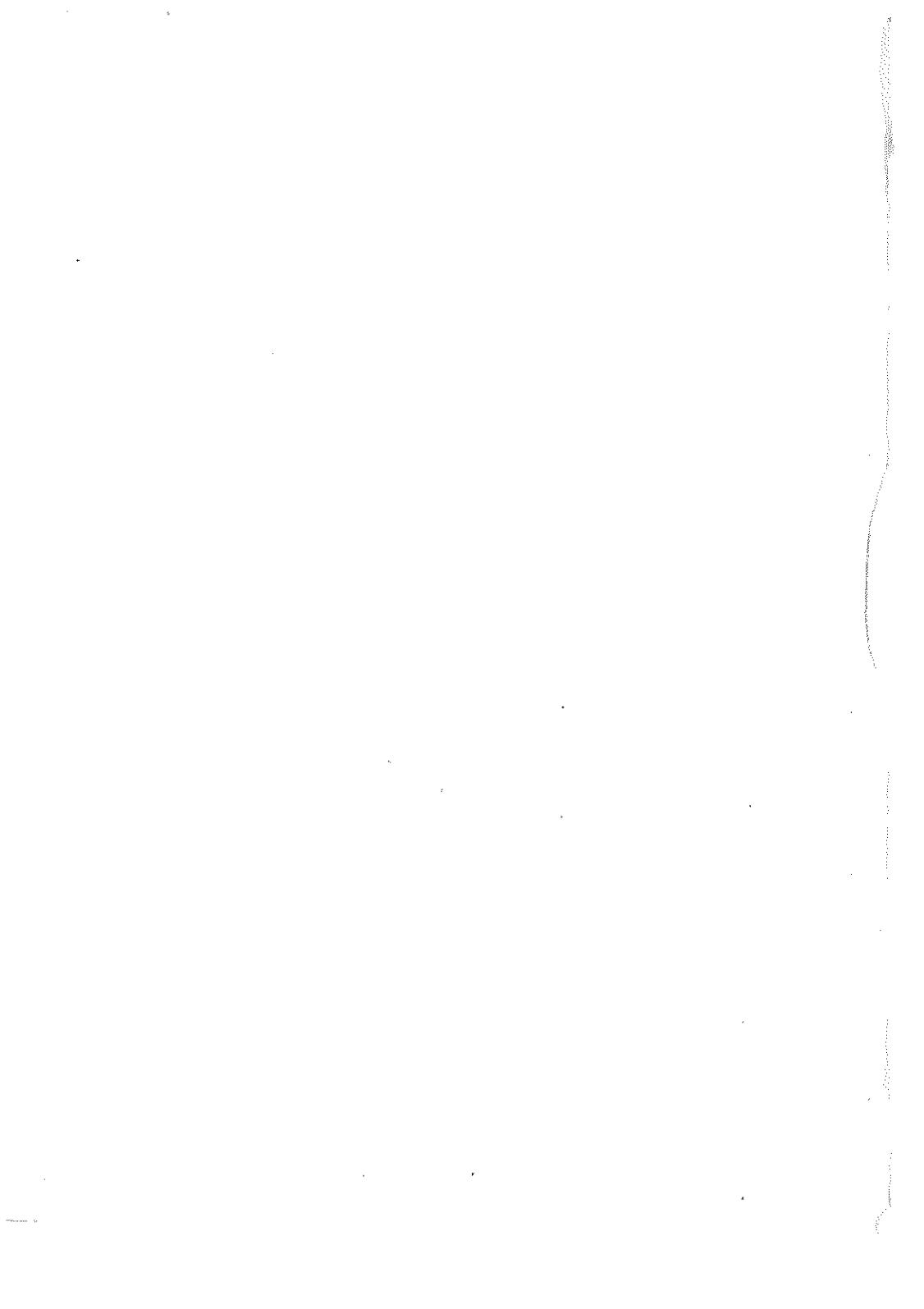
2 - 3 APRILE 1979



ATTI DEL TERZO COLLOQUIO
DI INFORMATICA MUSICALE

a cura di G. De Poli

UNIVERSITA' DI PADOVA
2-3 APRILE 1979



I N D I C E

Il pensiero musicale nel mezzo elettronico ed il passaggio fra tecnica analogica e tecnica digitale (Boggiani G.)	pag.	1
Adattamento per elaboratore elettronico di un' composizione per ar- chi: una esperienza al terminale-audio TAU 2 (Belfiore A.)	"	15
Il programma EMUS nella didattica e nella prassi compositiva (Dalla Vecchia W.)	"	36
L'automazione integrale - un approccio (Grossi P.)	"	41
Mutamenti della concezione formale nel passaggio dai mezzi analo- gici a quelli digitali (Rampazzi T.)	"	44
Riflessioni su una realizzazione - (Progetto per una composizione elettronica) (Razzi F.)		50
Analogie formali in frasi diverse di una composizione monodica (Baroni M., Jacoboni C.)	"	54
Automatic transcription of german lute tablatures: from abstract to polyphonic notation (Charnasse H.)	"	65
Spectra as chords (Dashow J.)	"	78
Un sistema per l'interpretazione ed esecuzione di testi musicali mediante elaboratore (De Poli G., Doardi E.)	"	80
Analisi digitale dei suoni multisonici (Tisato G.)	"	97
Composizione automatica: dalla musica 1/f alla musica autosimile (Bolognesi T.)	"	119
Identificazione dei parametri di un oscillatore VOSIM a partire da una descrizione spettrale (De Poli E., De Poli G.)	"	151
Trasformazione di testi musicali per mezzo di operatori (Haus G.)	"	168
PRIMULA: un linguaggio interattivo di programmazione (Tarabella L.)	"	184
Alcune considerazioni sulla formalizzazione dei processi composi- tivi (Vidolin A.)	"	200
Formalizzazione dei processi esecutivi della musica rinascimenta- le veneziana (Ambrosini C.)	"	213
<u>Il sistema per la sintesi del suono in corso di realizzazione pres-</u> <u>so l'Istituto di Acustica "O.M. Corbino" - C.N.R. Roma</u> (Borruso P., Giua P., Nottoli G., Santoboni S.)	"	225

Alcune macro in M360 per la elaborazione, la riverberazione e la spazializzazione stereofonica di segnali precedentemente memorizzati su nastro o su disco (Graziani M., Patella G.)	pag.	237
Hardware per scopi musicali: linee di tendenza (Haus G.)	"	247
Sintesi del canto mediante tecniche di predizione lineare (G.A. Mian, Tisato G.)	"	249
Analisi di una procedura per la realizzazione di una composi- zione mediante sintesi digitale (Papadia L.)	"	250

IL PENSIERO MUSICALE NEL MEZZO ELETTRONICO ED IL PASSAGGIO FRA TECNICA A
ANALOGICA E TECNICA DIGITALE

Parlerò di un lavoro su nastro in quattro parti, la cui composizione si è venuta tanto protraendo nel tempo che è passata da una prima fase, di concezione puramente analogica, ad una fase intermedia analogico-digitale, quindi ad una ultima fase digitale che, per il momento esiste solo sulla carta.

Il tema del mio discorso è l'influenza che questo passaggio ha avuto sul pensiero musicale originario e quali sono gli elementi della Sintassi che hanno potuto evolvere, per lo più grazie all'impiego del calcolatore.

Tutto il lavoro si basa sul principio della modulazione d'ampiezza. Passiamo ora brevemente in rassegna le tappe essenziali della composizione:

L'idea centrale di SENZA VOCI era di costruire una struttura basata su quattro insiemi frequenziali ruotanti nello spazio, capaci di determinare un seguito di relazioni reciproche.

Da un materiale di base costituito di quattro sinusoidi sono stati desunti secondo un rapporto astratto, altri tre gruppi analoghi. Materiale di partenza dunque, quattro insiemi Alfa, Beta, Gamma, Delta.

FREQUENZE

Alfa	Beta	Gamma	Delta
320	1600	4000	6667
300	1500	3750	6250
222	1000	2250	3375
89	400	900	1350

RAPPORTO FREQUENZE CENTRALI DI OGNI INSIEME

300	x	5	=	1500
Alfa	222	x (5 - 1/10x5)	=	999
1500	x	5/2	=	3750
Beta	1000	x (5/2 - 1/10 x 5/2)	=	2250
3750	x	5/3	=	6250
Gamma	2250	x (5/3 - 1/10 x 5/3)	=	3370
6250				
Delta	3370			

In realtà ognuno dei quattro Insiemi risultanti è costituito da TUTTI gli elementi ottenuti tramite la modulazione delle quattro frequenze di base. Più precisamente le frequenze vengono inviate ai due ingressi di un moltiplicatore secondo il seguente principio :

(figura 1)

Data la successione 1234, le frequenze 2 e 3 (centrali) restano sempre ferme in U e V. Le frequenze 1 e 4 possono invece essere inviate sia in U che in V.

Tali relazioni danno luogo a quattro diversi stati dell'insieme.

(figura 2)

Questi stati costituiscono l'elemento grammaticale più piccolo ed allo stesso tempo il minimo principio di variazione.

Il passaggio da uno stato ad un altro avviene necessariamente attraverso un sensibile legame armonico, dandosi sempre un pacchetto di frequenze che varia ed un altro che non varia.

(lo stesso principio dell'armonia tonale).

Consideriamo adesso il nostro materiale ad un livello di elaborazione superiore : vediamo come ognuno degli insieme citati entra in contatto con gli altri, e di conseguenza quali sono le relazioni reciproche fra i quattro insiemi.

(figura 3)

Questo è lo schema a blocchi generico: il vero e proprio strumento di cui ci si è serviti.

Per ognuno dei quattro insiemi abbiamo scelto le due Frequenze-differenza 2-1 e 4-3 come elementi caratteristici destinati ad entrare in contatto con l'esterno, precisamente andando a modulare le frequenze 2 e 3 di un altro insieme.

Otteniamo allora sei modi di mettere in relazione gli Insiemi tra di loro, e precisamente :

a) 2-1	moltiplica	2
b) 2-1	"	3
c) 4-3	"	2
d) 4-3	"	3
e) 2-1 e 4-3	"	2 e 3
f) 2-1 e 4-3	"	3 e 2

E questa è l'articolazione più importante dell'intero pezzo. Per ogni Insieme si ottiene una densità che sta tra un minimo di sei ed un massimo di 128 sinusoidi.

Ancora un livello ulteriore di articolazione all'interno dei quattro grandi momenti ognuno dei quali è fondato su uno degli insiemi. Si tratta dei cinque gradi di relazione possibile in cui questo insieme entra in relazione con gli altri :

- 1) Non è presente ma benchè non udibile influenza altri Insiemi
- 2) E' presente da solo
- 3) E' presente con altri insiemi in contrappunto
- 4) E' presente da solo ma influenzato dagli altri
- 5) E' presente con gli altri Insiemi e tutti ricevono una influenza esterna.

Questi cinque gradi costituiscono le cinque sotto-sezioni di ogni grande momento.

Sono in ordine di complessità crescente ed in quest'ordine si susseguono nella prima parte.

Per quanto riguarda le Durate abbiamo adoperato quattro scale diverse, ognuna di 12 valori: una per ogni momento.

(figura 4)

Il valore massimo è 12" per la prima

" 24" per la seconda

" 36" per la terza

" 48" per la quarta

Si passa da un andamento lineare ad un andamento esponenziale
Valore minimo 1/20 sec.

Minimo scarto 3/10 sec.

E, guarda caso, i valori di durata sono per ora gli unici a non aver subito modificazioni nel passaggio tra composizione analogica e composizione digitale. Perchè?

Perchè la variazione da una sezione ad un'altra non è soltanto

combinatoria, o strutturale, non è diversa su un livello parallelo, ma va ad agire direttamente sulla dimensione fisica del suono, o del parametro in oggetto, in modo rilevante per la percezione ma allo stesso tempo non elementare.

(Una costruzione controllata e allo stesso tempo svincolata dalla linearità del principio seriale).

Vediamo ancora le curve di ampiezza con cui si presenta il materiale sonoro. Alcune delle frequenze che vanno al modulatore finale, precisamente la 1 e la 4, più quelle esterne, sono moltiplicate per un inviluppo che risulta dalla sovrapposizione di due onde trinagolari asimmetriche con pendenza fissata (15% e 85%). Anche qui il limite è dovuto al fatto che gli oscillatori analogici di cui disponevamo in studio davano quella forma d'onda con proporzioni predeterminate. Ora con quei dati di partenza noi potevamo costruire una tipologia di Inviluppi riconducibile a Otto casi :

(figura 5)

- 2 Rampe in fase
- 2 Rampe in opposizione di fase
- e viceversa.

A dire il vero, fin dalla prima parte questi inviluppi sono stati realizzati digitalmente con un microprocessore, ed abbiamo preferito non andare a variare le grandezze delle rampe:

- 1) Le percentuali relative dei segmenti di salita e discesa rispetto alla DTot.
- 2) Il valore dell'esponente da dare ai segmenti. (La pendenza).

Ai limiti della produzione si possono e si devono sostituire dei limiti imposti dal compositore: limiti mentali e percettivi.

Ci sembrava che mantenendo fissi questi valori (anche a prezzo della monotonia) si sarebbe meglio caratterizzato la prima Sezione del lavoro.

Oggi nel programma di sintesi in Fortran di cui disponiamo possiamo naturalmente dare i valori che più ci sembrano opportuni sia per la percentuale che per l'esponente.

Certo l'utilizzazione che verrà fatta di questa libertà non potrà essere che molto parsimoniosa ed in relazione con tutti gli altri parametri della composizione.

-----o-----o-----

Fin qui vi ho descritto, grosso modo, quello che è stato già realizzato su nastro. Non mi addentro nei particolari.

Siamo andati poi a comporre la seconda parte, centrata sull'insieme Alfa. Movimento grave, tipo 2° tempo di una Sinfonia.

Non mi addentro nei particolari.

Se avessimo continuato col sistema precedente (unico possibile con produzione analogica) avremmo ottenuto delle permutazioni sullo stesso livello logico, ma non uno sviluppo.

Cosa potevamo permutare: 1) l'ordine di successione delle sottosezioni

- 2) l'ordine delle durate globali
- 3) l'ordine di successione degli Insiemi
- 4) l'ordine di successione delle influenze etc.

Ora, passando da una data forma ad una forma più ampia, quello che prima era macro-struttura diventa micro-struttura e quindi si rende necessario un ulteriore livello di articolazione, quanto più flessibile e continuo.

Abbiamo parlato di stati in cui possono trovarsi gli insieme, abbiamo parlato di modi di influenza, cioè modi in cui un Insieme poteva venir moltiplicato da elementi di un altro Insieme.

Senza contare le durate che son proprio diverse; c'è abbastanza materiale per non avere ripetizioni o quasi nel corso di un'intera sezione.

Tuttavia bisogna considerare l'effetto prospettico per cui in una grande struttura il diverso viene sentito come simile ed il simile come uguale.

Ecco allora la necessità di creare un ulteriore grado di controllo per regolare il corso di alcuni parametri sul piano della Macro-struttura.

Il primo parametro sono evidentemente le altezze, che vengono fatte glissare in modo non immediatamente avvertibile secondo un algoritmo che in 10 steps restringe la distanza tra un insieme ed il suo contiguo.

$$300 \times 5 \\ 222 \times (5 - 1/10^5) \text{ diventa : } \frac{300 \times 5}{1+4x} \\ 222 \times \frac{5}{1+4x} - \frac{1}{10} = \frac{5}{1+4x} - \frac{1}{10} x$$

con : $0 \leq x \leq 1$

Nelle rimanenti tre sezioni, l'insieme guida non glissa, gli altri tre sì: subiscono una attrazione verso un polo di riferimento che caratterizza la sezione. Qual'è il senso di questo approfondito controllo nelle relazioni?

Possiamo almeno dire che, in rapporto all'ampiezza, questa pos-

sibilità di variare la distanza spettrale tra un insieme e l'altro significa poter entrare nel timbro e quindi nella microstruttura (partendo dalla macro) in maniera assai più efficace di quanto noi non potessimo fare prima.

Lo stesso discorso vale per le ampiezze. Anche qui rispetto alla composizione iniziale, viene istituito un secondo livello di controllo macr-strutturale sull'intero Insieme per un tempo X .

L'involuppo viene calcolato su quattro punti/: T_{inizio} /

Picco 1 Picco 2/ T_{fine} .



Naturalmente, ed è un terzo parametro, cui ho accennato prima, si interviene anche sugli involuppi di primo Livello, modificando :

- 1) le percentuali di durata dei segmenti
 - 2) la gradazione della pendenza compresa tra una curva lineare ed una esponenziale.
-

Tutti questi elementi concorrono invariabilmente a produrre un certo spazio di manovra nel campo della Armonia-Timbro: nel momento attuale sono la nostra dimensione, il territorio dove possiamo sperare di creare relazioni necessarie.

Certo questo è molto; è essenziale per la creazione di materiali musicali ma non sufficiente per la composizione di musica, per la creazione di un pensiero musicale.

Perchè questa creazione sia esplicitata bisogna domandarsi che cosa noi possiamo desumere dalla "storia della musica".

Certo non la ripetizione di forme astratte preconstituite, perchè la forma non può non essere che dinamica, aperta alle esigenze del materiale.

Certo, a maggior ragione, non il riferimento ad oggetti concreti della storia della musica, cioè a materiale già dotato di una propria valenza semantica, perchè lo specifico del compositore è proprio di ammettere al territorio della musica quello che non ne fa ancora parte, attraverso la coerenza del pensiero.

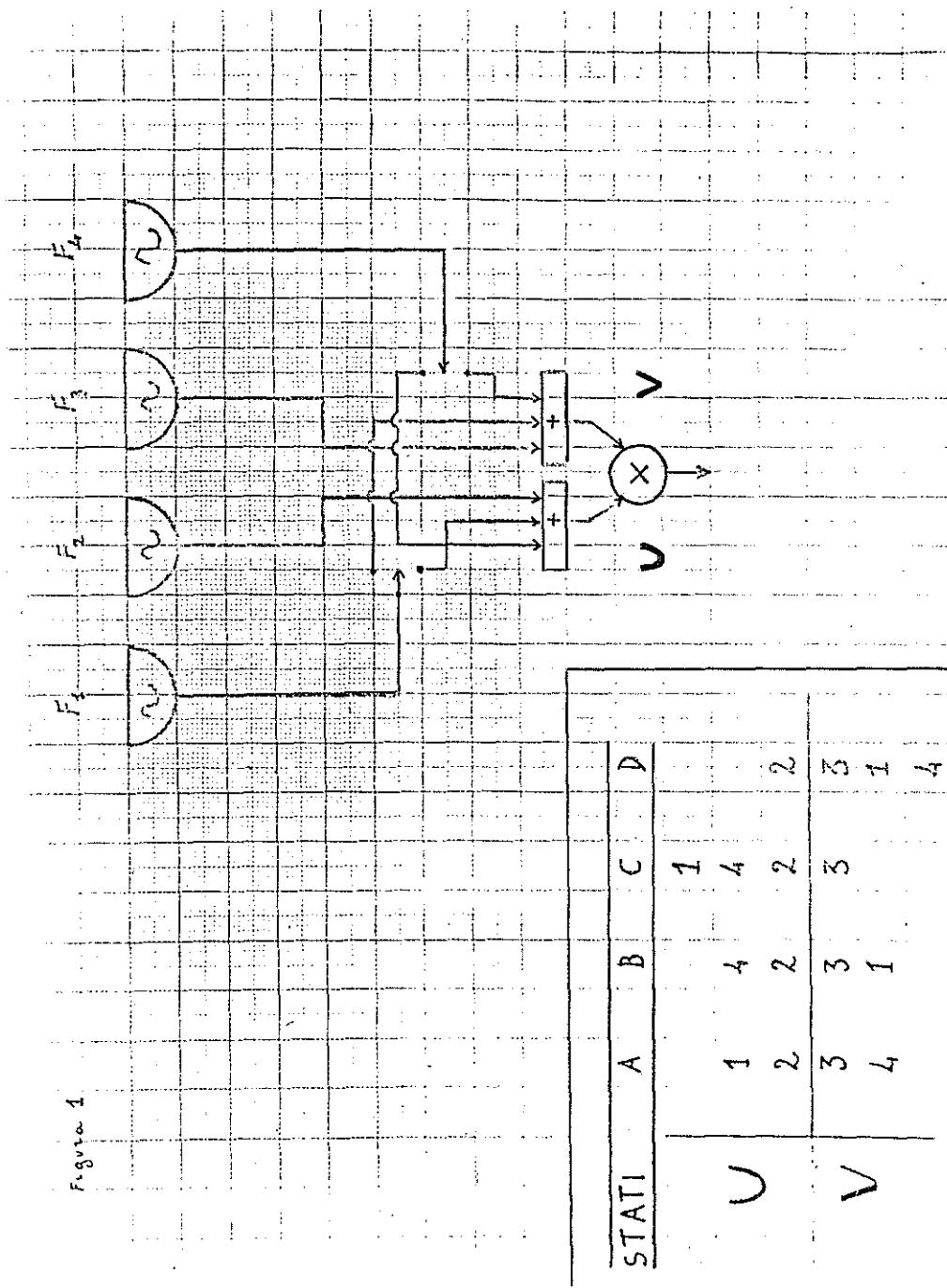
Un riferimento alle forme semplici o complesse sedimentate nella storia della musica sembra allora produttivo solo come riconsiderazione dei procedimenti mentali astratti che le hanno generate. O meglio nel conflitto, nell'attrito costante tra questi procedimenti e le direzioni suggerite dal sistema di generazione del suono di cui disponiamo: possiamo trovare oggi la nostra dimensione musicale.

Nelle parti digitali di Senza Voci noi utilizziamo volentieri dei procedimenti che fanno capo a forme specifiche di contrappunto; dalla tecnica della Eterofonia alla tecnica dell'Ochetus al rapporto figura-sfondo (melodia-accompagnamento) alla contaminazione di una forma con l'altra.

Questo aggancio consapevole a delle radici prime del pensiero musicale sicuramente oggetto di una introiezione da parte nostra, ci sembra necessario se non altro per renderci liberi dagli imperativi suggeriti dalla macchina.

Ruolo Baffani

Figure 4



≡ B

Figure 2

1 400
2 1000 $\longrightarrow 1000 - 400 = 600$
3 1500
4 1600 $\longrightarrow 1600 - 1500 = 100$

A

$1+3^{\circ}$ $400 + 1500 = 1900$ $4+1^{\circ}$ $1600 + 400 = 2000$
 $3-1^{\circ}$ $1500 - 400 = 1100$ $4-1^{\circ}$ $1600 - 400 = 1200$
 $3+2^{\circ}$ $1500 + 1000 = 2500$ $2+4^{\circ}$ $1000 + 1600 = 2600$
 $3-2^{\circ}$ $1500 - 1000 = 500$ $4-2^{\circ}$ $1600 - 1000 = 600$

B

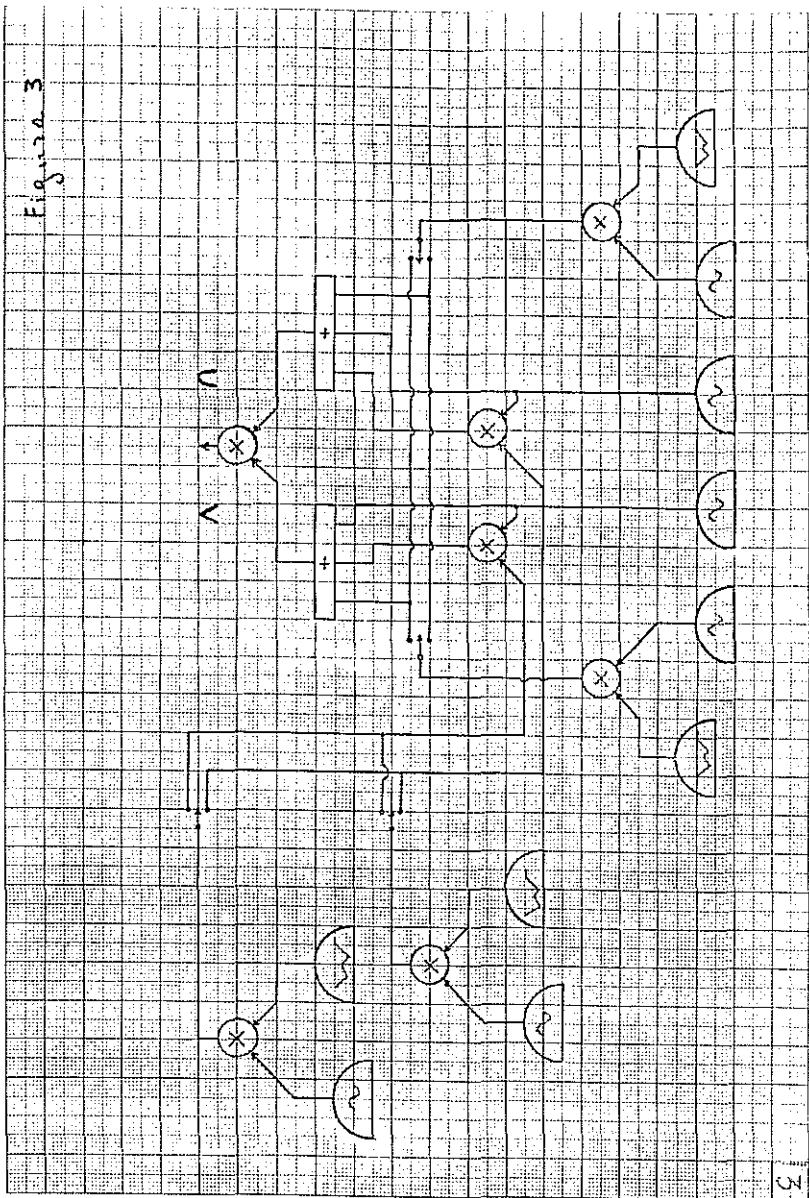
$4+3^{\circ}$ $1600 + 1500 = 3100$ $4-1^{\circ}$ $1600 - 400 = 1200$
 $4-3^{\circ}$ $1600 - 1500 = 100$ $4+1^{\circ}$ $1600 + 400 = 2000$
 $2+3^{\circ}$ $1000 + 1500 = 2500$ $2+1^{\circ}$ $1000 + 400 = 1400$
 $3-2^{\circ}$ $1500 - 1000 = 500$ $2-1^{\circ}$ $1000 - 400 = 600$

C

$1+3^{\circ}$ $400 + 1500 = 1900$ $2+3^{\circ}$ $1000 + 1500 = 2500$
 $3-1^{\circ}$ $1500 - 400 = 1100$ $3-2^{\circ}$ $1500 - 1000 = 500$
 $4+3^{\circ}$ $1600 + 1500 = 3100$
 $4-3^{\circ}$ $1600 - 1500 = 100$

D

$2+3^{\circ}$ $1000 + 1500 = 2500$ $2+4^{\circ}$ $1000 + 1600 = 2600$
 $3-2^{\circ}$ $1500 - 1000 = 500$ $4-2^{\circ}$ $1600 - 1000 = 600$
 $2+1^{\circ}$ $1000 + 400 = 1400$
 $2-1^{\circ}$ $1000 - 400 = 600$



2

Four Duration Scales.

For each scale, 1" constant is added to the C.

2	1.33	1.15	1.05
3	2.16	1.68	1.35
4	3.21	2.67	2.07
5	4.63	4.16	3.38
6	6.32	6.16	5.42
7	8.26	8.75	8.30
8	10.50	11.91	12.14
9	12.95	15.66	17.04
10	15.63	20.03	23.10
11	18.54	25.04	30.40
12	21.66	30.69	39.01
13	25	37	49

Figure 4

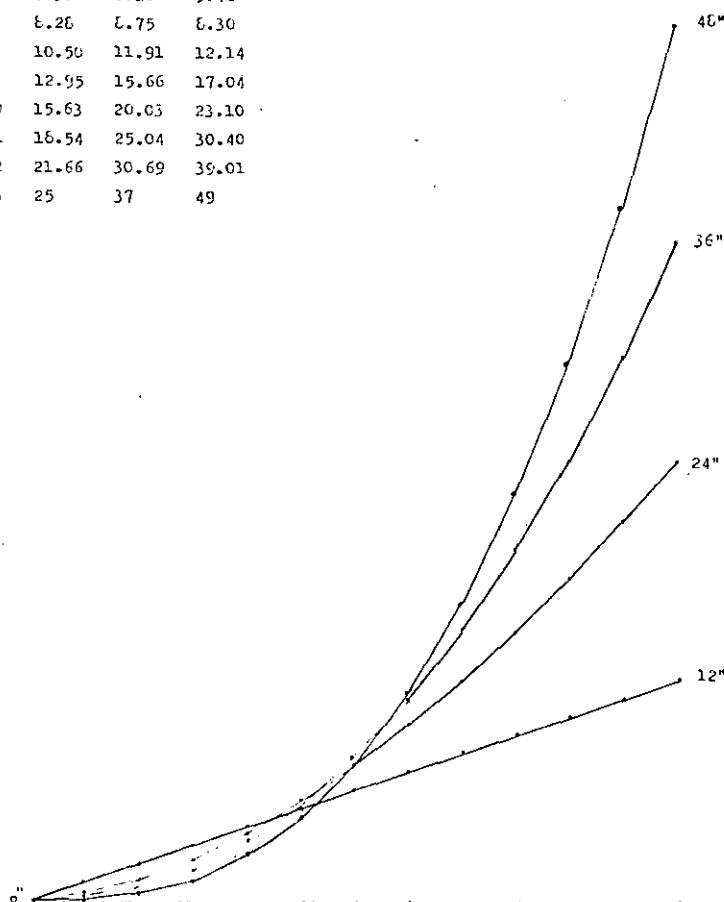
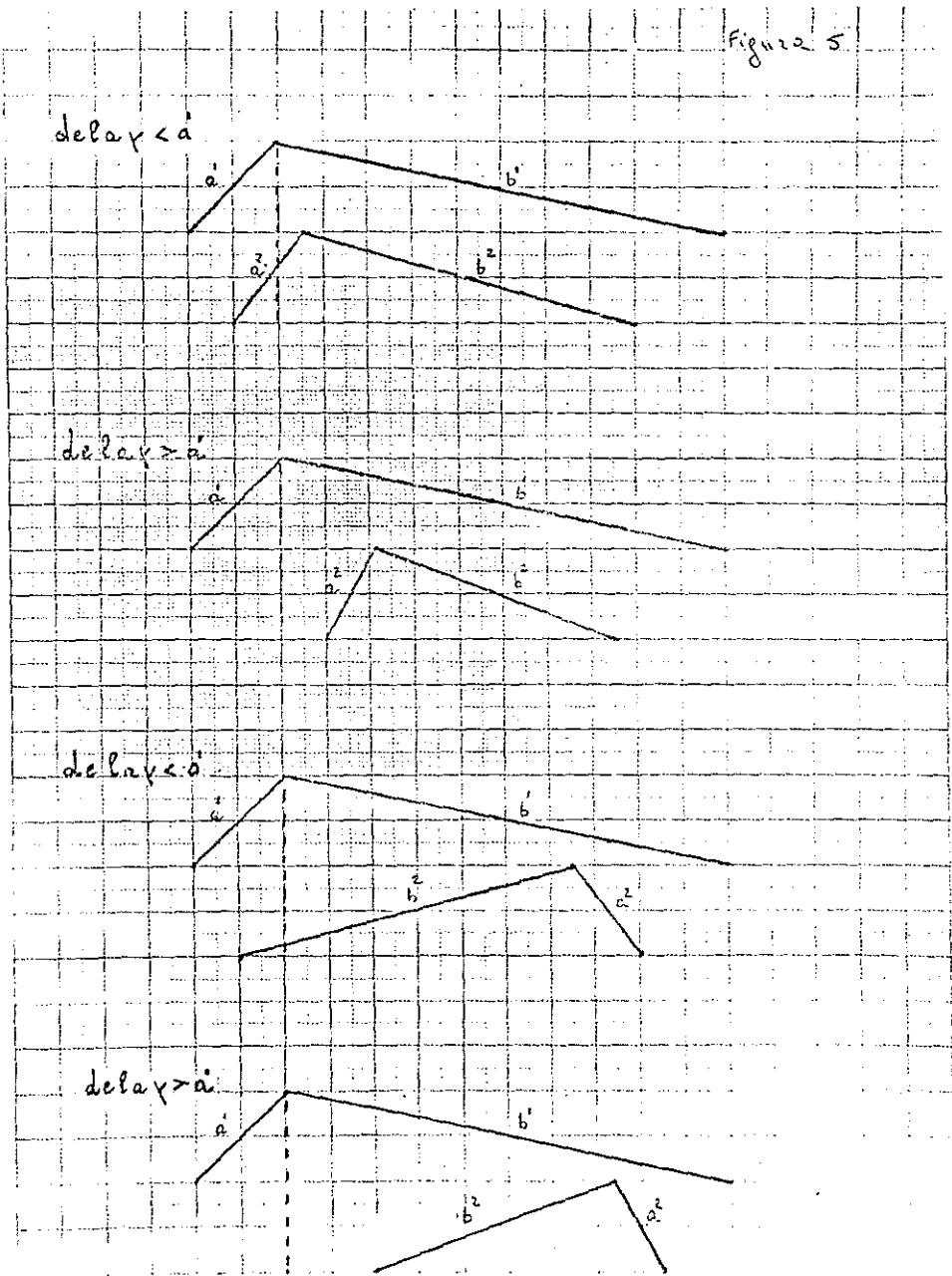


Figure 5



ADATTAMENTO PER ELABORATORE ELETTRONICO DI UNA
COMPOSIZIONE PER ARCHI
UN'ESPERIENZA AL TERMINALE-AUDIO TAU2

relazione di alfonso belfiore

AEGROR è un lavoro nato dall'esigenza di una mia prima sperimentazione del TAU2. Lo scorso anno, conoscute le notevoli possibilità del programma TAUMUS e del terminale-audio (1), volevo subito metterle in atto. Nel '75 avevo composto una partitura che nella ripartizione strumentale, quattro violini, quattro viole e quattro violoncelli, coincide esattamente con la struttura del terminale-audio TAU2 :

canale A	voce	1-(FA1, DA1)	
" "		2-(FA2, DA2)	----- (TA, VA)
" "		3-(FA3, DA3)	
" "		4-(FA4, DA4)	
canale B	voce	1-(FB1, DB1)	
" "		2-(FB2, DB2)	----- (TB, VB)
" "		3-(FB3, DB3)	
" "		4-(FB4, DB4)	
canale C	voce	1-(FC1, DC1)	
" "		2-(FC2, DC2)	----- (TC, VC)
" "		3-(FC3, DC3)	
" "		4-(FC4, DC4)	

dodici voci, indipendenti fra loro per le frequenze e le durate, vincolate in tre gruppi di quattro relativamente alla forma d'onda ed all'ampiezza.

Questa analogia e considerazioni di carattere estetico e

(1)- Per le informazioni relative al terminale-audio TAU2 e al programma TAUMUS consultare l'apposito manuale delle modalità operative redatto dal M° Pietro Grossi e pubblicato dal CNUCE (Pisa) - Istituto del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

strutturale permettevano un efficace adattamento; il lavoro, infatti, tranne alcuni casi, di cui dirò poi, non presentava, almeno nella fase iniziale, eccessive difficoltà.

Naturalmente, essendo questo lavoro pensato per archi, non sempre mette a fuoco globalmente e organicamente le possibilità del TAU2, risentendo anzi qualche volta dell'assenza del previsto esecutore-interprete, questo non per imputare qualche carentza alla macchina, ma solo per precisare e meglio interpretare e sfruttare caratteristiche peculiari dell'una o dell'altra partecipazione di cui si deve tener conto nel comporre.

Del resto è pure impensabile ed illusorio esaurire in una sola composizione gli elastici impieghi di un così complesso strumento quando anche un semplice, tradizionale e millennario flauto, mediante l'uso di particolari tecniche per la produzione controllata di suoni multipli, riesce tutt'oggi ad offrire nuove e straordinarie applicazioni timbriche e polifoniche.

Devo comunque dire che il sacrificio, in alcuni episodi, di risultati previsti dalla partitura originale è stato, altrove, largamente compensato dalla possibilità di una più profonda manipolazione strutturale del materiale dato, consentendo, quindi, un notevole sconfinamento là dove, ovviamente, si fanno pesanti i limiti imposti da un'esecuzione con strumenti tradizionali azionati dall'uomo.

La struttura generale della composizione è articolata mediante un processo di stratificazioni; ricordando che ogni suono è identificato da quattro parametri, naturalmente sempre presenti (forma, ampiezza, lung. d'onda e durata dell'evento), lo si può considerare un tessuto composto da strati "cellulari" liberi, l'uno rispetto agli altri, nel loro svolgersi e quindi osservare che il "corpo" del suono, così strutturalmente organizzato, è esso stesso fonte di quell'idea di stratificazione che, in una dimensione pure dilatata, è alla base dello sviluppo di questo mio lavoro.

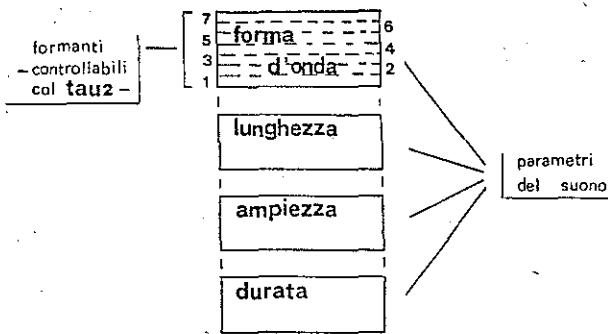
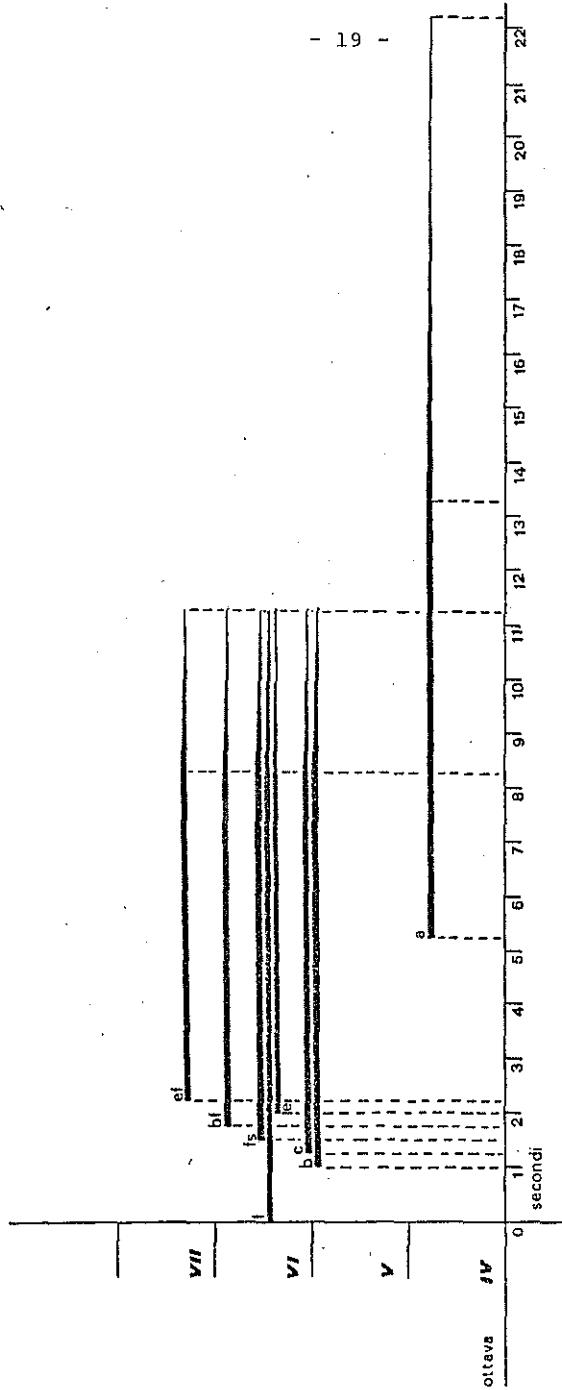


fig. 1

Naturalmente, oltre che dal suono in sé, questo principio è enucleato, nella stessa composizione, dalla struttura iniziale che presenta l'addensamento di un gruppo di suoni sinusoidali ed è facile notare che ho traslato quella possibile lettura del singolo suono all'organizzazione di un complesso di questi, ottenendo un tessuto sonoro d'ordine superiore, dove, oltre che i parametri strutturali dei singoli suoni, sono identificabili, come strati, anche i suoni stessi.

a e g r o r

struttura iniziale



- rappresentazione grafica delle durate, delle frequenze e del volume.

- è impiegata la notaz. inglese.

- la degradazione volumetrica da 10 a 1 (livelli del tau2) è rappresentata dall'assottigliarsi dello spessore delle linee.

Questo procedimento che informa tutta la composizione è, nel corso di questa, ulteriormente amplificato attraverso l'uso di blocchi di suoni letti anch'essi come strati dilatati di addensamenti ancor più complessi.

La figura 2 potrà meglio chiarire l'uso del concetto di stratificazione esteso ai vari livelli.

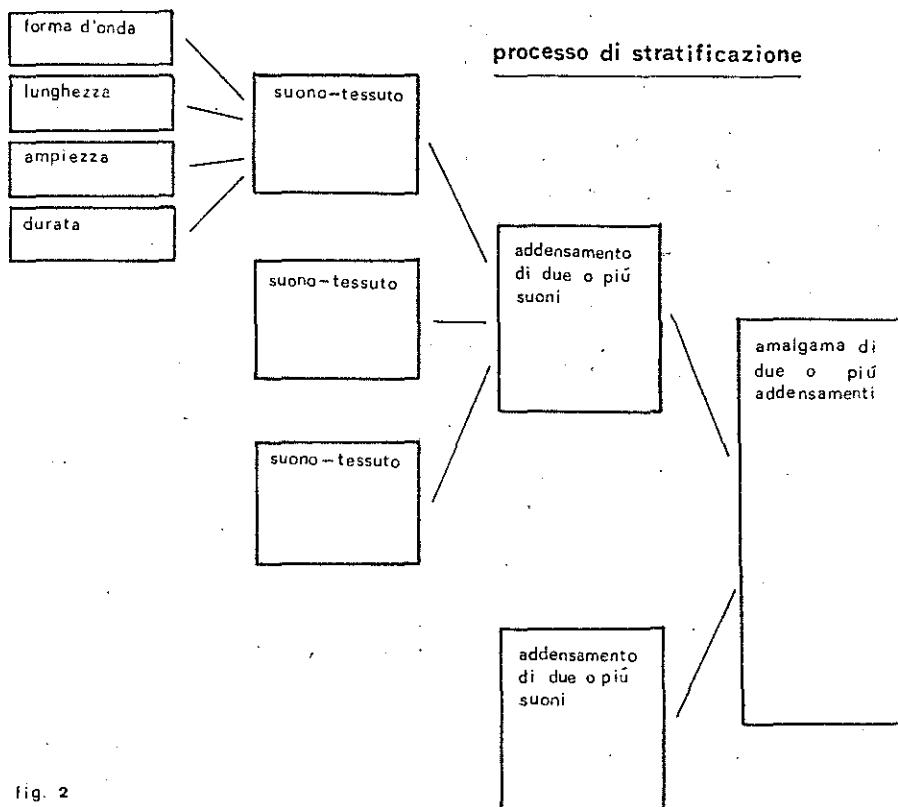


fig. 2

Presente nella composizione e importantissimo per lo svolgimento e la comprensione di questa, è anche un processo disgregativo. Alla logica di stratificazione, prima esposta, si pone in antitesi, fin dall'inizio, questa di sfaldamento, dove l'una, mediante un processo di sintesi, tende a coagulare, amalgamare, cristallizzare, l'altra, in dialettica opposizione, evidenzia, disgregando dense masse composite, gli strati elementari fino a quelli del singolo "suono-tessuto", polverizzando magari una possibile, monolitica, forma d'onda in centinaia di piccolissimi frammenti colorati e generando così, all'interno del suono stesso, sottili strutture ritmiche del pulsare timbrico, considerabili, anche queste, strati del suono-tessuto. L'ultima nota della cellula iniziale presenta l'andamento di questo processo (fig.a).

Oppure, generando anche stavolta la presenza di strutture ritmiche interne, è la frequenza ad essere frantumata e variata stabilendo una successione di valori che nel loro insieme devono essere letti anch'essi come "cellule" di un altro particolare strato del suono-tessuto.

Due esempi mostreranno questo procedimento: una certa frequenza, prolungata nel tempo, subisce una serie di alterazioni frantumandosi in altre diverse frequenze di piccola durata non mutando però, pur nella sua articolata struttura, l'aspetto "straticolare" prima conferitole.

In questo caso una serie di dodici altezze, che sono state da me assegnate, riciclano, per un certo tempo, su di un "ostinato" ritmico, questa struttura è poi riflessa da altre tre

voci. Nel complesso dei suoni-tessuto, comprensivi di questi strati articolati, sono presenti: una sfasatura di carattere temporale mediante la riduzione, graduale e proporzionale nella distribuzione tra le voci, dei valori delle durate ciclate dalla prima voce e una riferita alle frequenze rapportandole, per ciascuna voce, ad una altezza iniziale sempre diversa, tenendo complessivamente, in continua tensione, il materiale generato.

L'altro esempio mostra un blocco di suoni-tessuto elaborati automaticamente dal computer, le frequenze base vengono frantumate in altri valori scelti con procedure pseudo-casuali entro limiti da me stabiliti (confrontare per i due esempi precedenti le figure b e c).

Per concludere questa breve presentazione, le due forze generatrici e contrapposte di questo lavoro possono essere quindi identificate, la prima, nell'intento di sintetizzare quegli elementi primordiali del suono, i suoni stessi e i loro insiemi in addensamenti più o meno complessi, massificandoli in strutture cristallizzate, l'altra, presenza contraria, dissolutrice, nell'intento di minare il magma costituito, cercando, nella corsalità, di restituire a quelle particelle elementari, una propria percettibile individualità, strato per strato.

2 C.U.O.

struttura indicata attivarsi suono

lancio dei bambini

per ogni strumento

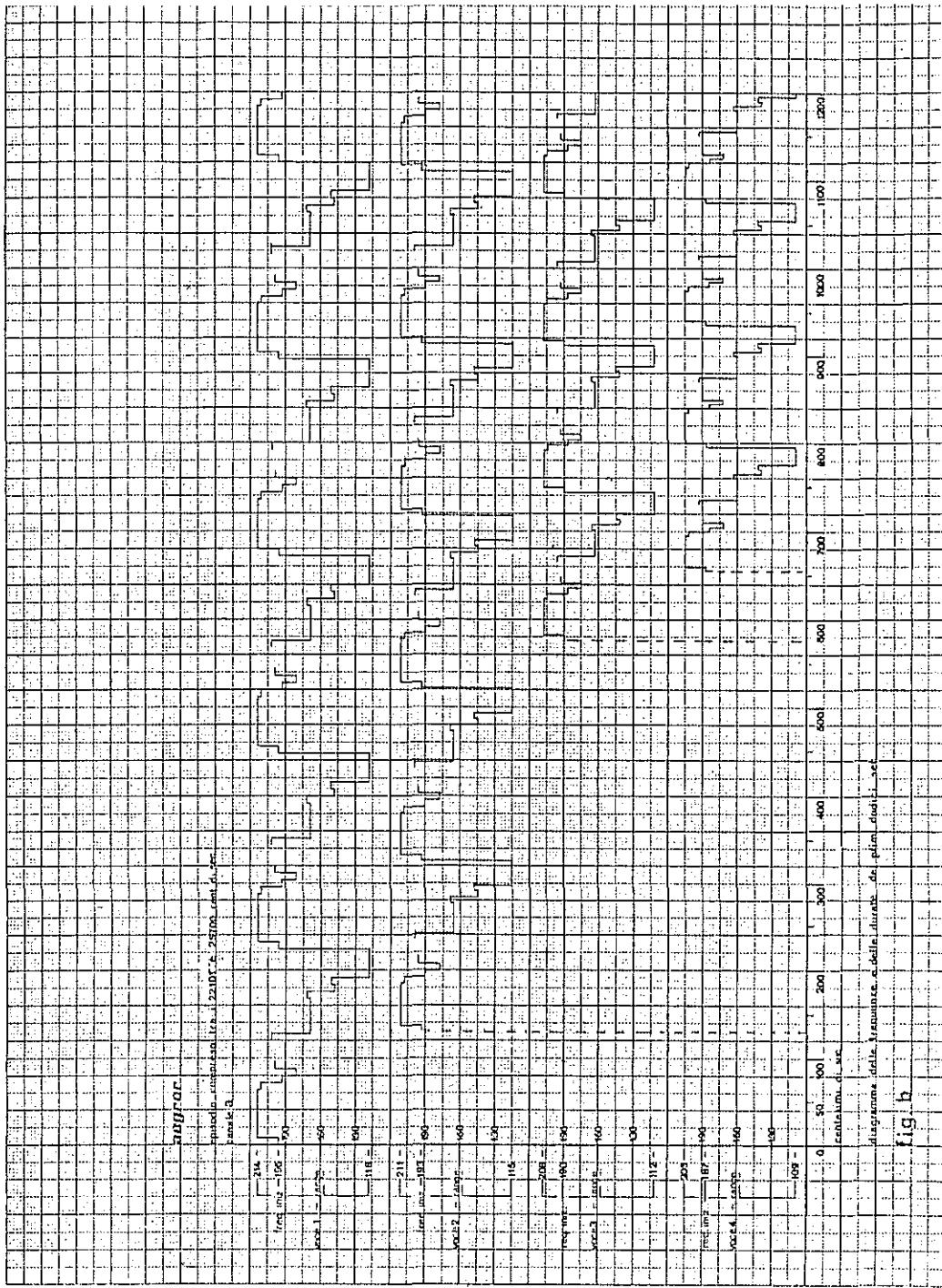
attivarsi suono

l'aliquota del montante dell'utile di solame-

to per i consumi di manica delle imprese

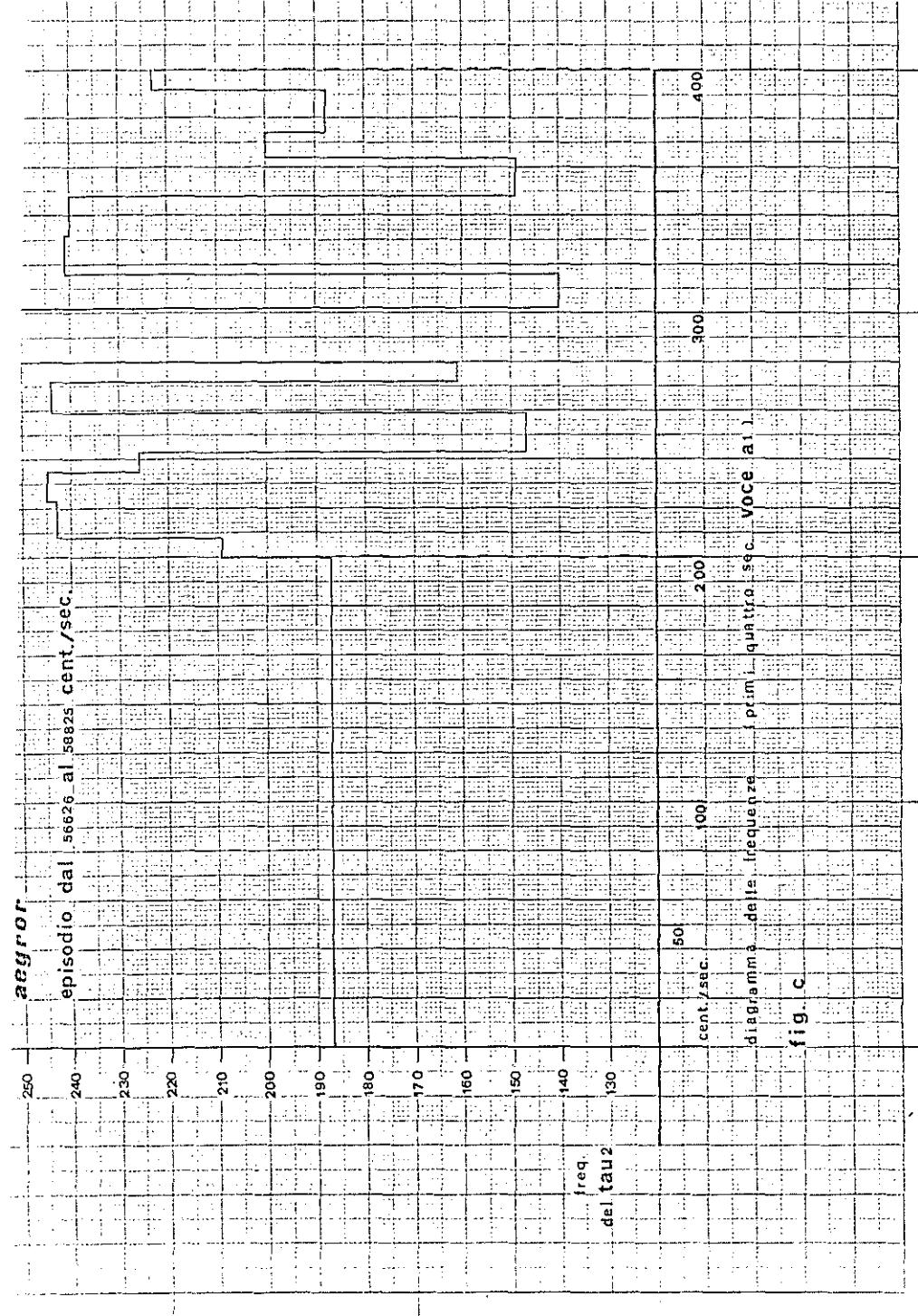
che svolgono attività [18] (anno 1986 del rai).

Fig. 2



disegnante, tale, la somma, e della durata del piano di disegno.

aegror



Illustrerò, adesso, quei procedimenti operativi impiegati nella realizzazione di alcuni degli episodi del brano strutturalmente più complessi, procedimenti che giudico, per i risultati ottenuti, di un certo interesse.

Nel caso seguente il problema era ottenere, in ognuna delle quattro voci utilizzate, una particolare sequenza di strutture, sempre concluse da una pausa, identificabili dalla quantità di suoni in esse contenuti, quantità in due diverse misure, da me stabilite, ogni volta per ciascuna voce:

	voce 1 - strutture	(+++P)...(+++++P)
<u>canale A</u>	" " 2 - "	" (++++P)...(++++++P)
	" " 3 - "	" (+P)....(++++++P)
	" " 4 - "	" (+P)....(++P)

- il segno "+" indica, ogni volta, una qualsiasi diversa frequenza del "range" scelto;
- il segno "P" indica una pausa;

la disposizione dei due tipi di strutture e le altezze dei suoni, fra le frequenze del TAU2 quelle numerate da 200 a 255, dovevano, invece, essere decise dal programma.

E' stato dunque necessario, per la realizzazione della prima voce, composta da gruppi di tre e cinque suoni seguiti da una pausa, e analogamente per le altre tre voci, attivare, con l'istruzione "CREATE", la parte del programma taumus per la generazione di strutture sonore pseudo-casuali optionalmente controllabili dall'operatore.

Generata una serie di frequenze, scelte nel "range" voluto, assegnando a ciascun suono una durata di 9/100 di sec. ed una simile ma più breve; alla prima sequenza, successivamente, sono state sostituite alcune frequenze, dalla sesta, una ogni sei, con delle pause della stessa durata, all'altra, invece, alcuni suoni, dal quarto, uno ogni quattro, sono stati modificati nella durata (9/100 portati a 27/100 di sec.) e nell'altezza con una frequenza estranea al "range" e pertanto facilmente distinguibile dal programma dopo la seguente operazione di mescolamento casuale delle due serie, in un'unica sequenza, per blocchi di 54/100 di sec. mediante il comando SHUFFLE.

I blocchi, così liberamente posti in successione, risultavano composti: alcuni da cinque suoni seguiti da una pausa della stessa durata (9/100), altri da tre suoni, anch'essi di 9/100 di sec., seguiti però dalla frequenza da me assegnata, quella non compresa nel range stabilito, con la durata triplicata (27/100), posto poi, momentaneamente, un suono identico a questo all'inizio della sequenza è stato possibile sostituire tutti quelli simili con una pausa modificando anche la durata riportandola al valore originario di 9/100 di sec.

La lunghezza di ciascuna delle due serie generate dal CREATE era calcolata in maniera tale da ottenere lo stesso numero di quelle strutture volute, assicurando così statisticamente, utilizzando i primi 34 sec. della sequenza ultimata che, naturalmente, era molto più lunga, la stessa probabilità di presenza.

Questa procedura era necessaria considerato che l'istruzione SHUFFLE è in grado di agire solo con blocchi della medesima quantità di suoni o della stessa durata (pag. I).

L'esempio seguente mostra un "cluster" di suoni in cui è operata una disgregazione timbrica progressiva realizzata a blocchi. L'evento, che dura complessivamente 33 secondi, è composto da quattro suoni simultanei, proposto in quattro fasi rispettivamente di 11, 5, 6 e 11 sec., è articolato timbricamente entro valori diversi per ciascuna fase:

		fase 1	fase 2	fase 3	fase 4
<u>canale A</u>	arm. 7)	1—2	1—3	1—3	+++++
	" " 6)	2—2	2—3	2—3	+++++
	" " 5)	3—3	3—4	3—4	+++++
	" " 4)	4—5	4—5	4—5	+++++
	" " 3)	5—6	5—6	5—6	+++++
	" " 2)	6—7	6—7	6—2	+++++
	" " 1)	7—7	7—5	6—3	+++++
<u>canale B</u>	arm. 7)	1—2	1—2	1—4	+++++
	" " 6)	2—2	2—3	2—4	+++++
	" " 5)	3—3	3—3	3—4	+++++
	" " 4)	4—4	4—5	4—5	+++++
	" " 3)	5—6	5—7	5—7	+++++
	" " 2)	6—6	6—7	7—2	+++++
	" " 1)	7—7	7—7	7—3	+++++
<u>canale C</u>	arm. 7)	1—2	1—3	1—4	+++++
	" " 6)	2—2	2—3	2—4	+++++
	" " 5)	3—3	3—3	3—5	+++++
	" " 4)	4—4	4—4	4—6	+++++
	" " 3)	5—6	5—5	5—7	+++++
	" " 2)	6—6	6—6	5—2	+++++
	" " 1)	7—7	6—5	6—3	+++++

- i segni "+++++" indicano una serie casuale di valori.

durata durata durata durata
11 sec. 5 sec. 6 sec. 11 sec.
(livelli d'ampiezza per ciascuna armonica)

Ogni singolo suono del cluster è eseguito contemporaneamente agli altri dalla prima voce di ciascun canale ad eccezione del suono più basso affidato alla seconda voce del canale C, ho così tre fasce timbriche sovrapposte ma indipendenti fra loro nell'articolazione.

E' stato necessario, per realizzare ogni fascia all'interno di ciascuna delle prime tre fasi, creare una sequenza di note, tutte della frequenza scelta per ogni voce, della breve durata di 5/100 di sec., congiunta ad un'altra sequenza di note, pure della stessa frequenza, della durata di 50/100 di sec.

Questa procedura è analoga a quella impiegata nello sfaldamento timbrico-ritmico del "LA" contenuto nella cellula iniziale di cui ho già detto.

Stabilendo poi una certa forma d'onda, l'ho modificata, trasformandola gradualmente, in un'altra voluta con un'istruzione "MODIFY". Considerato che questi valori vengono distribuiti percentualmente e ordinatamente, adesso, posso, con l'istruzione SHUFFLE, mescolare casualmente, naturalmente con i dati timbrici e temporali loro relativi, le note delle due sequenze congiunte all'interno di ciascuna fase e ottenere, quindi, un'unica sequenza di timbri-durate liberamente disposta dal programma giocando però nei limiti da me fissati. Ampliando, fase per fase, il range rendo la disgregazione sempre più percettibile fino all'ultima parte, generata dal programma con l'istruzione CREATE, qui, voce per voce, ho vincolato la generazione delle altezze su quelle volute, lasciando al programma la scelta fra i due valori temporali di 5 e 50/100 di sec. e la totale libertà nella determinazione della timbrica. -pag. II-

Questa procedura non era adatta alla realizzazione delle tre prime fasi in quanto la generazione automatica, col CREATE, dei parametri timbrici non può essere articolata, come, invece, per le frequenze e le durate, in un range escludendone altri.

L'evento prevedeva, però, un diverso svolgimento, irrealizzabile per l'impossibilità del TAU2 a produrre intervalli più piccoli del sesto di tono. Era infatti previsto un lentissimo glissato discendente del cluster che, in 33 sec., doveva percorrere circa un'ottava e mezzo. Ma, è evidente, che spazi di sesto di tono, sempre troppo grandi per il glissato in un tempo così dilatato (ed anche per strutture musicali pensate per elaboratore elettronico), rendono troppo sensibile il procedere da una frequenza all'altra.

Un analogo procedimento è occorso alla realizzazione di un altro episodio dove quattro frequenze, a distanza d'ottava l'una dall'altra, distribuite sui tre canali, un suono per il canale A, uno per B e due per C, subiscono una simile disgregazione.

In simili decorsi timbrici, mediante tali manipolazioni, dove ognuna delle sette armoniche relative a ciascun suono del TAU2 può assumere livelli d'intensità diversi (da 0 a 7), acquistando così una certa percepibile individualità estrapolandosi dall'amalgama sonoro, è inevitabile osservare come sia possibile riconoscere un vero e proprio contrappunto tra le ampiezze delle singole formanti.

Il seguente frammento, contenuto nella parte finale della composizione, presenta delle oscillazioni timbriche, entro valori stabiliti, di un cluster di suoni.

L'evento è più volte casualmente interrotto dalla permanenza di una certa forma d'onda la cui durata è stata notevolmente dilatata. La prima metà della fase di oscillazione è stata ottenuta mediante la codifica di una serie di suoni brevissimi, tutti della stessa frequenza, associando a ciascuno di questi una timbrica gradualmente diversa. L'altra metà, con l'istruzione "GOBACK", è stata realizzata invertendo ordinatamente la successione dei suoni. Unendo le due semifasi e moltiplicando il periodo ottenuto si è avuta una sequenza di una certa lunghezza di oscillazioni:

	→												←											
arm 7)	0	0	0	0	0	1	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
" " 6)	0	0	0	0	1	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	3	3	3
" " 5)	0	0	0	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	3	3
" " 4)	0	0	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	- (ecc.)
" " 3)	0	1	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4
" " 2)	1	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4
" " 1)	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	5	5	5	4	4	5	5	5	6	6	6	6
cent./sec.	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	- (ecc.)	

-ogni colonna rappresenta
la forma d'onda di un suono.

E' stato poi codificato un lungo suono della medesima frequenza di quelli prima impiegati ma, naturalmente, di un'unica forma d'onda. Unendo questo suono con la sequenza prima realizzata e utilizzando l'istruzione SHUFFLE per blocchi di

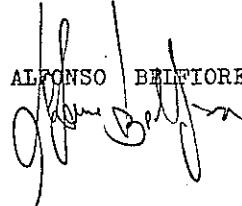
50/100 di sec. è stato possibile raggiungere la struttura desiderata. -pag.III -

Per concludere, il lavoro di codifica in un FILE è stato generalmente limitato alle sole altezze e durate previste dalla partitura, escludendo quelle parti che per le loro esigenze strutturali hanno trovato, con l'impiego di certe istruzioni del programma, una più veloce realizzazione nella fase successiva di manipolazione dei parametri forniti dalla già codificata "struttura-portante" e nella creazione e manipolazione automatica, anche con opzioni, di frammenti e sequenze di questi.

Tutte queste strutture, trattate e conservate singolarmente, sono state poi, in un'ulteriore fase operativa, integrate nella struttura-portante mediante un montaggio operato, anch'esso, con le relative istruzioni del programma TAUMUS.

Lucca, 25/3/1979

ALFONSO BELFIORE



SCHEMA OPERATIVO 1

CREATE
LAL!54! TA!7,6,5,4,3,2,1! VA!15! FAL!,,200,255! DAL!,,9,9!
(sequenza: ++++++ ecc.)
MODIFY FAL!P,6,,6!
(seq.: +++++P++++P++++P++++P++++P++++P++++P++++ ecc.)
SAVE SEQ1

```
CREATE
LAI!36! TA!7,6,5,4,3,2,1! VA!15! FAL!,,200,255! DAL!,,9,9!
MODIFY FAL!100,4,,4!
    (seq.: +--+100+--+100+--+100+--+100+--+100+--+100+--+100ecc.)
MODIFY DAL!A27,4,,4!
    (seq.: ++(100,27/100)++(100,27/100)++(100,27/100)++ecc.)
SAVE SEQ2
```

```
LOAD SEQ1
CHAIN SEQ2
SHUFFLE Z!54
    (seq.: + +(100,27/100) + + + + P + + + + P + +(100,27/100) + + + + Pecc.)
SAVE SEQ3
```

TEXT
!A1! TA!7,6,5,4,3,2,1! VA!15! H 100,27/100
SAVE FREQ100

```
LOAD FREQ100
CHAIN SEQ3
  (seq.: (100,27/100)+++ (100,27/100)+++++P+++++P+++ (100,27/100)
MODIFY DAL!A9,,,S!
  (seq.: 100+++100+++++P+++++P+++100+++++Pecc.)           ecc.)
MODIFY FAL!P,,,S!
  (seq.: P+++P+++++P+++++P+++P+++++Pecc.)
SAVE SEQAL/Z!,10,3409
  (seq.: +++P+++++P+++++P++P+++++Pecc.)
```

-11-

SCHEMA OPERATIVO 2

```
TEXT
!AL! T7,6,5,4,3,2,1 V15 H (196,5/100)160
SAVE SEQ1
TEXT
!AL! T7,6,5,4,3,2,1 V15 H (196,50/100)6
SAVE SEQ2
LOAD SEQ1
CHAIN SEQ2
MODIFY TA!/7,7,6,5,3,2,2!
SHUFFLE !1
SAVE FASE1
```

```
LOAD SEQ1/Z!,,350
CHAIN SEQ2/Z!,,150
MODIFY TA!/5,7,6,5,4,3,3!
SHUFFLE !1
SAVE FASE2
```

```
LOAD SEQ1/Z!,,400
CHAIN SEQ2/Z!,,200
MODIFY TA!6,6,5,4,3,2,1!
MODIFY TA!/3,2,6,5,4,3,3!
SHUFFLE !1
SAVE FASE3
```

```
CREATE  
LAI!11! VA!15! FAL!,,196,196! DAL!,,5,50,50  
WLA!11! VA!15! FAL!,,196,196! DAL!,,5,50,50  
SHUFFLE !1  
SAVE FASE4,1000,,7000
```

LOAD FASE1
CHAIN FASE2
CHAIN FASE3
CHAIN FASE4
SAVE TIMAL

SCHEMA OPERATIVO 3

TEXT

!B1! V15 T7,1 H 143,1/100 T7,2,1 143 T7,2,2,1 143 T7,3,2,2,1 143
T7,3,3,2,2,1 143 T7,3,3,3,2,2,1 143 T7,4,3,3,3,2,2 143
T6,4,4,3,3,3,2 143 T6,4,4,4,3,3,3 143 T6,4,4,4,4,3,3 143
T6,5,4,4,4,4,3 143 T5,5,5,4,4,4,4 143 T5,5,5,5,4,4,4 143
T5,5,5,5,5,4,4 143 T4,5,5,5,5,4 143

SAVE TIM

GOBACK

SAVE MIT

LOAD TIM

CHAIN MIT

SAVE TIMMIT!100

LOAD TIMMIT

MODIFY DB1!A2,,4,,4

SAVE TIMMIT

TEXT

!B1! T7,1 V15 H 143,1000/100

SAVE TIMFER

CHAIN TIMMIT/ZB1!,,3000

SHUFFLE ZB1!50

SAVE TMATF/ZB1!,,2200

IL PROGRAMMA EMUS NELLA DIDATTICA E NELLA PRASSI COMPOSITIVA

Wolfgang DALLA VECCHIA

Conservatorio "C. POLLINI" - Padova

Il programma EMUS - in attuazione presso il Centro di Calcolo dell'Università di Padova in collaborazione con il Conservatorio di Padova e di Venezia ad opera di Giovanni De Poli, di Alvisse Vidolin e dello scrivente - rappresenta anzitutto un modo di incontro fra tecnologia computeristica e tecnologia compositiva tradizionale ed è nato dalla volontà di fornire agli allievi di Conservatorio un mezzo pratico razionale, facilmente accessibile, per utilizzare il calcolatore numerico nella composizione musicale.

Per espletare questa sua fondamentale funzione didattica, si è concepito un programma capace di tradurre per il calcolatore la prassi compositiva musicale, suddividendola in varie operazioni successive attraverso alle quali ricostruire la logica del discorso musicale nelle sue accezioni più generali.

Il linguaggio musicale è stato concepito, a tal fine, come una serie significante di eventi sonori predisposti secondo il duplice orientamento della allitterazione, intesa come "ripetività" ai fini della memorizzazione delle chiavi di linguaggio; e della variazione, ai fini della qualificazione espressiva dei successivi termini di discorso.

Questi, a loro volta, sono stati scomposti in varie componenti, raggruppate, secondo una concezione tradizionale, nelle categorie ORDO, DYNA, MELO, ARMO e CROM, corrispondenti, approssimativamente, alla struttura formale, alla metrica accentuativa, alla serie notatale, alle fasce armoniche, e alla coloritura timbrica. L'ORDO, pertanto, riassume tutte le operazioni di strutturazione formale, definendo i rapporti base di durata; il DYNA dà la possibilità di inserire un discorso metrico; il MELO definisce i campi di frequenze e il loro uso; l'ARMO i fasci sonori concomitanti; il CROM predispone i "colori" timbrici. Il computer viene così chiamato a realizzare strutture musicali concepite in modo classico, ma trasferite nelle

dimensioni inconsuete dell'informatica.

Una "partitura" di questo tipo può essere interamente prevista e definita dal compositore, oppure essere in parte "obbligata" in parte "aleatoria".

La programmazione della partitura avviene, da parte del compositore, in tre fasi:

- definizione di una particolare struttura formale
- immagazzinamento del materiale-base metrico, seriale, timbrico e accordico
- versamento di questo materiale nella struttura formale.

Se quest'ultima fase è parzialmente aleatoria, il compositore procede a controlli di esito e successive rettifiche fino ad ottenere il risultato migliore. Il margine aleatorio è dato dall'uso di "masche re" predisposte a filtrare il flusso ripetitivo delle serie timbriche, seriali e accordiche. . .

Un programma così concepito ha anzitutto lo scopo di definire un metodo di lavoro, indifferentemente dal materiale impiegato: esso infatti propone una tecnica compositiva praticamente senza limitazione alcuna circa i tipi di linguaggio prescelti. La metodologia alla quale si ispira, è quella di una strutturazione aprioristica di tutta l'opera, quale - più o meno consciamente - sempre si impone all'autore di musica. Per la realizzazione concreta di questa struttura il compositore definisce successivamente i tempi di esecuzione e le strutture ritmo-metriche portanti, le componenti frequenziali melodiche ed armoniche, la dinamica generale e quella di dettaglio, la distribuzione della coloritura timbrica, eventuali effetti speciali; il tutto su una o più linee, per due o più canali.

Il programma cioè non fissa un particolare vocabolario, procedimenti acustici specifici o una serie di codici di trascrizione, ma ripropone a mezzo calcolatore i processi mentali rilevabili o ipotizzabili nel processo creativo musicale, in qualsiasi forma esso si sia fin ora manifestato.

La scelta pertanto del materiale-base (gamme, fasce sonore, serie notali, materiale timbrico etc.) resta interamente libera, a discrezione del singolo compositore, che può, volta per volta, crearsi non solo particolari strutture, ma anche tutto il materiale-ba-

se, sia che intenda volta per volta fissare i modi del proprio linguaggio, sia che ne voglia, per ogni singola opera, inventare ex novo tutte le componenti.

Ne fanno già fede, con le loro fisionomie estetiche divergenti, i due brevissimi test compositivi di autori diversi, proposti per l'ascolto (esempi n. 3 e 4; il primo è mio, l'altro di Corrado Pasquotti): vi sono infatti potenzialmente infiniti modi di comporre col programma EMUS.

I procedimenti impiegati risultano talmente "naturali", e "flessibili", da consentire volendo - sia pure con ovvi margini di imperfezione - anche la riproduzione del linguaggio classico. E' cioè possibile con l'EMUS ricreare, per esempio, un tema classico non mediante trascrizione in codice, ma rifacendo il processo compositivo, che l'ha determinato.

Attualmente si sta lavorando con un tipo, di struttura ritmo-metrica che consente la definizione di ogni parametro musicale in una frazione di tempo che - a MM 60 - corrisponde a 1/20 di secondo (variabile pertanto, col variare del metronomo). Queste unità fondamentali vengono raggruppate in numero di venti, in unità maggiori chiamate "celle". Le "celle" vengono a loro volta raggruppate in unità maggiori dette "cicli", regolamentate da una gerarchia di "accenti" variamente calibrati e disposti secondo esigenze estetiche. Il "ciclo" corrisponde, se usato in sequenze abbastanza ampie, a quello che è il "tala" nella musica classica indiana; fornisce cioè l'ossatura di una struttura formale a carattere ripetitivo. Fermo rimanendo il "ciclo", le varianti di esso vengono date dalle variazioni di metronomo.

In questa pre-struttura formale si inseriscono serie di materiale timbrico, frequenziale e accordico determinate in coincidenza con gli schemi metrici del ciclo, o asimmetrizzati, in varia misura alzatoriamente, mediante maschere che si sovrappongono ai metri sudetti.

Allo stato presente del lavoro, le serie notali vengono reperite mediante suddivisione in microintervalli dello spazio frequenziale (a partire da una frequenza-diapason), e successivamente determinando in progressione geometrica, un certo numero di intervalli mediante i quali strutturare la componente seriale. Per le fasce ac-

cordiche si fa invece uso di cicli semplici, dedotti sempre dal campo frequenziale precedentemente determinato, è raggruppando, a comando, un numero variabile di suoni.

Per quanto riguarda il cosiddetto "timbro", si sta mettendo a punto uno schema che consenta facilmente al compositore di costruirsi, mediante alcuni parametri di riferimento, in modo controllato, il "colore" che gli serve.

I quattro test-compositivi che vengono proposti all'ascolto non riguardano l'opera attualmente in corso di realizzazione, ma sono, i primi due, una esemplificazione dal metodo di lavoro, nel passaggio da una struttura pura alla sua esecuzione con note e timbri diversi; il terzo e il quarto sono invece prodotti finiti anche se molto elementari (su una sola linea) che avevano finalità di collaudando del programma.

Il carattere eminentemente didattico di quanto esposto e di quanto realizzato credo sia evidente: aggiungo solo che l'abitudine a comporre un discorso musicale di sintesi mediante calcolatore, sviluppa nel musicista una diversa e molto approfondita capacità di lettura e di analisi anche della musica tradizionale.

Contemporaneamente viene pure a svilupparsi una nuova e diversa filosofia del linguaggio musicale, in quanto è possibile intravvedere soluzioni diverse tanto dal razionalismo accademico quanto dall'empirismo elettronico.

Queste prospettive di soluzioni diverse vengono da una parte dalle tecnologie tipiche del computer, con le quali è oggi estremamente facile sperimentare ogni ipotesi nel campo dell'organizzazione delle durate e delle frequenze; dall'altra parte dall'impossibilità di mantenere come reale la classificazione tradizionale di altezza, intensità, timbro e durata, quali componenti diverse e distinte di ogni evento musicale. La distinzione infatti delle categorie DYNNA, MELO, ARMO e CROM del programma è meramente convenzionale, e tende spontaneamente a ridurre le varie fasi di lavoro a operazioni matematiche diverse compiute su dati di base simili o eguali.

A questo punto il "computer" non è più l'analista della fenomenologia musicale storica, ma diviene il possibile antesignano di nuove forme di espressione musicale, nel reperimento delle quali esso diviene collaboratore indispensabile. A tal fine, esso è chiama-

to non tanto a fornire nuovi timbri, nuove strutture, nuove sonorità, quanto ad assumere gli atteggiamenti propri di una mente che "inventa" musica (l'espressione è Strawinskiana) innestandosi nella tradizione per superarla, e lasciando al compositore tutta la necessaria libertà di approntare, collezionare, selezionare e scegliere le forme di linguaggio più adeguate alla propria personalità.

Quanto v'è di "automatico" nel programma è pertanto concepito in funzione di "aiuto" alla composizione, e non come alternativa alla creatività; il compositore in questo modo fa il suo ingresso nel mondo dell'automazione non per acquisire dei limiti, ma per liberarsi da essi, e il "computer" diviene un nuovo strumento, per servirsi del quale si dovrà, verosimilmente, da parte dei musicisti, fare i conti con l'impaccio dei numeri e forse con l'artificiosità dei suoni, ma al quale si possono demandare funzioni di strutturazione fin ora impensabili, e impossibili su strumenti tradizionali.

Va anche posta in rilievo l'estrema brevità dei tempi necessari alla stesura degli ordini impartiti, con questo metodo, al Computer; che si ripropone così non solo come eccezionale mezzo didattico, ma anche come reale "aiuto" alla pratica compositiva.

L'AUTOMAZIONE INTEGRALE - UN APPROCCIO

L'automazione di tutti i processi operativi, ivi compresi quelli di natura decisionale, costituisce uno degli aspetti più significativi del TAUMUS, il programma di gestione del terminale audio TAU2.

Tutti i comandi di esecuzione, di gestione dell'archivio e di rielaborazione accettano come opzione il trasferimento dei poteri decisionali dall'operatore al programma stesso; il trasferimento viene indicato con il carattere R, iniziale di random, e il compito che il programma si assumerà sarà quello di calcolare o ricercare il valore numerico associabile al parametro a cui R è stato assegnato. Un esempio: il comando

```
PLAY I 3,10,50,2
```

chiede tre esecuzioni della sezione del brano in memoria racchiusa tra 10 e il 50 suono con l'esclusione di un suono ogni due. Parte o tutti i parametri numerici possono essere sostituiti dal carattere R. L'assegnazione di questo carattere determina l'intervento del programma nella scelta del valore da attribuire al parametro utilizzato.

Alcuni comandi, poi, hanno il compito specifico di operare automaticamente. Essi sono: CREATE, VARY, WORK.

Con CREATE si entra in ambiente di creazione automatica, le cui modalità operative possono essere optionalmente stabilite dall'operatore.

VARY ha il compito di elaborare variazioni sul brano presente nell'area operativa del programma e WORK riassume in sè le facoltà operative di CREATE e di VARY.

In questo intervento non mi soffermerò su CREATE, che è stato ampiamente analizzato e descritto dal Bolognesi nell'incontro avvenuto a Milano l'anno scorso. Mi limiterò perciò alla descrizione dei comandi VARY e WORK.

Il comando VARY elabora ed esegue, senza termini di tempo prestabiliti, e cioè a volontà dell'operatore, variazioni su un testo musicale assegnato immediatamente prima, oppure creato automaticamente col comando CREATE o, infine, richiamato dall'archivio. Le scelte di rielaborazione vengono effettuate in funzione di valori dati da numeri casuali forniti da un'apposita subroutine del programma.

Per quanto concerne i parametri acustici frequenza e durata, le possibilità rielaborative coincidono con quelle disponibili con i comandi di rielaborazione MODIFY, SCALE, GOBACK, INVERT, SHUFFLE i cui interventi vengono richiesti da VARY.

In fase di elaborazione automatica non sono disponibili tutte le facoltà operative dei comandi sopra accennati; quelle messe si muovono entro limiti operativi più ristretti rispetto a quelli consentiti in operazioni non automatiche.

Ad esempio, mentre l'operatore può virtualmente assegnare qualsiasi valore al coefficiente moltiplicativo del comando SCALE, che modifica i rapporti intervallari, il programma può scegliere entro una serie di valori tra 0,1 e 2,75 con ragione 0,05. Si ricorda che MODIFY modifica i parametri, SCALE controlla i rapporti intervallari, GOBACK inverte l'ordine dei parametri, INVERT modifica le frequenze specularmente, SHUFFLE riordina i parametri con procedure casuali.

Per quanto concerne la modulazione del suono, modulazione che interessa il timbro e/o il volume e/o la frequenza, sempre tramite numeri casuali, VARY ricerca il numero di modelli modulanti da impiegare e sceglie i modelli, sempre con modalità casuali, tra i 118 attualmente disponibili.

Ciò per ogni variazione.

Avanti di iniziare l'elaborazione, il programma chiede alla console se l'operatore desidera porre vincoli sulla scelta delle modalità di rielaborazione. In caso di risposta negativa viene iniziato il lavoro entro la gamma di possibilità indicante sinteticamente in precedenza.

In caso di risposta affermativa il programma ricorda alla console quali sono le possibilità operative con il seguente messaggio:

SELEZ.VARIA./ SND MODUL ONLY(1), FREQ!DURAT (2),INTERV RATIO (3), CONTR MOTU (4), INVERS INTERV RATIO (5), RALL/ACC (6), RANDOM (7).

I numeri posti a lato di ogni tipo di rielaborazione devono essere impiegati dall'operatore per la selezione. Per esempio, se si desidera avere variazioni di frequenza, di durata e rallentandi o accelerandi si darà 26; se si vogliono modifiche sui rapporti intervallari e random si dovrà assegnare 37. Nel caso che si vogliano solo modifiche timbriche/volumetriche/frequenziali mediante le tecniche di modulazione del suono si assegna 1. La modulazione del suono avviene anche se non è esplicitamente richiesta e il programma ha la facoltà di stabilire il numero di modello modulanti entro il massimo di 20 per esecuzione.

Qualche parola sulla modulazione del suono:

La modulazione ha luogo con la scomposizione del suono in centesimi di secondo e a ogni centesimo di secondo o a gruppi di essi viene associato un timbro e/o un volume e/o un coefficiente di modifica della frequenza appartenenti a cosiddetti modelli modulanti precostituiti.

Qualsiasi brano può essere impiegato come modello modulante di un altro brano e anche di se stesso, ma in generale il modello consta di un numero qualsiasi di suoni campione che possono al limite arrivare a 2000, diversi l'uno dall'altro in almeno un parametro tra i tre previsti per la modulazione, frequenza, timbro, volume. Ogni operatore può realizzare l'insieme di valori spettrografici che crede, oppure scegliere tra quelli memorizzati in archivio, come avviene nel caso delle elaborazioni automatiche. I suoni possono essere modulati con modalità diverse, quali:

- 1) Selezione del parametro acustico
- 2) Selezione del canale
- 3) Determinazione del tempo di modulazione (da 1 a 99 centesimi di secondo)
- 4) Sincronicità o asincronicità della modulazione e cioè reinizializzazione del modello in sincronia con il cambiamento del suono oppure impiego totale del modello e il suo ricalaggio a prescindere dalla durata dei suoni
- 5) Determinazione della zona del brano da modulare con numero d'ordine dei suoni o con l'indicazione dei centesimi di secondo e della periodicità d'intervento.

Un esempio di comando sulla modalità operativa di cui si è parlato:

DEFMOD ZTA#105, 150, 700
(DM)

Il carattere Z indica che la delimitazione del campo operativo viene espressa in centesimi di secondo; il T stabilisce che la modulazione deve essere esclusivamente timbrica e A definisce il canale timbrico e volumetrico, dei 3 di cui dispone il TAU2, soggetto all'operazione.

I valori numerici 150 e 700 delimitano la zona di intervento in centesimi di secondo; il valore 105 ha due funzioni: determina il tempo di modulazione (in questo caso 5 centesimi di secondo) e l'asincronicità della modulazione perché al valore di temporizzazione è stato sommato 100.

Il comando WORK racchiude in sè le possibilità operative strettamente automatiche di CREATE e VARY e inoltre può compiere scelte di archivio.

In quest'ultimo caso il programma può lavorare nell'ambito di 96 brani con il vincolo di non ripetere alcun brano finché non sono stati eseguiti tutti gli altri.

Avanti di iniziare l'elaborazione il comando chiede la selezione o meno di due tipi di lavoro di base, la creazione e la gestione dell'archivio con il seguente messaggio:

CREATION AND/OR LIBRARY?

Si può optare per la creazione con C(reation), per la scelta dell'archivio con L(ibrary) e per ambedue con B(oth).

Il programma intercalerà le due funzioni, se richiesto, con metà casuali.

Nel corso della gestione dell'archivio il programma ha altresì la facoltà di stabilire se eseguire il brano totalmente o parzialmente definendo in quest'ultimo caso l'ampiezza della sezione scelta che in nessun caso sarà inferiore a 3 secondi. Dopo ogni esecuzione, inoltre, deciderà o meno di variare il testo, limitando le variazioni ad un massimo di 10. Le variazioni avranno luogo secondo le possibilità operative del comando VARY. L'elaborazione è a tempo indeterminato; al momento dell'interruzione forzata il programma darà il seguente messaggio:

"IT'S EXTREMELY IMPROBABLE TO OBTAIN THE SAME ELABORATION".

Mutamenti della concezione formale nel passaggio
dai mezzi analogici a quelli digitali.

Sembra prematuro parlare di mutamenti formali quando stiamo ancora constatando che lo sviluppo dei mezzi tecnologici ha occupato tutti gli studi molto più dei risultati che se ne potevano trarre da parte dei musicisti e quando anche a livello di software le ricerche si moltiplicano e si diversificano a tal punto che difficilmente un compositore può passare da uno studio all'altro senza dover superare difficoltà di linguaggio. D'altra parte anche il termine musicista ha oggi assunto un significato molto diverso. Non possiamo più dire che il pilota di una macchina da corsa può correre senza sapere come è fatta la sua macchina ; il musicista insomma non può più definire il tecnico a mettere in esecuzione la sua idea . Il compositore deve studiare ^{studiare} il suo linguaggio come una volta studiava il contrappunto e l'armonia.

Come dicevo il mio argomento può sembrare prematuro ma anche arretrato se pensiamo che non soltanto oggi possiamo dare al computer i dati per costruirci il suono , ma l'intera struttura e ^{senza} di struttura fino alla formalizzazione dell'intero progetto .

Inoltre , come forse tutti sanno c'è già la macchina costruita a Edimburgo ^{J. J. J.} che automaticamente genera programmi e perfino programmi di controllo.

Ma per venire alla mia personale esperienza io mi sono avvicinata alla musica elettronica o meglio alla composizione con mezzi elettronici fin dai tempi di quella che M. Chion ha chiamato l'esplosione della Super Nova nel senso che a un primo iniziale splendore segue molto rapidamente il decadimento e spegnersi dell'astro. Davanti ai nuovi mezzi di generazione del suono i musicisti accorsi con entusiasmo presto si ritirarono e ritornarono alle loro orchestre sia pur trasformate da quel primo scossone . Solo in questi recenti anni da quando ciòé è avvenuta non tanto una seconda esplosione ma vorrei dire la ^{successione} nascita di una nuova galassia , (dico la Computer Music) possiamo spiegarci quello che era sembrato un fenomeno inspiegabile : la non partecipazione dei musicisti:

circa 25 anni di ricerche rigorose ma isolate da una parte, e di una grande confusione terminologica e pratica dall'altra: elettronautica, tape music , musica mista ecc.

Esattamente 10 anni fa durante il I Congresso internazionale di musica elettronica organizzato a Firenze da M° Pietro Grossi auspicavo un passaggio dalla ricerca al messaggio ; vorrei tentare ora dopo un primo approccio con il Computer un'ipotesi più avanzata : dal messaggio alla forma. Con qualsiasi mezzo la musica ha sempre espresso messaggi , ma la concezione della forma si è sempre andata modificando con la trasformazione del materiale o meglio dei mezzi che potevano offrirci quel materiale. All'inizio tutto era sembrato imprevedibile e dalle possibilità illimitate. Come disse Boulez eravamo ai confini della terra fertile : nessun punto di riferimento , un universo indifferenziato , rovesciamento di tutti i parametri , non la scelta del materiale ma la creazione del suono stesso ; unico criterio o nozione assolutamente nuova nel campo della musica : quella del continuo. Era dunque necessario un lungo tempo di ricerca e di evoluzione dei mezzi tecnici perché dai termini della grammatica si potesse passare ai discorsi comunicabili . I segnali dei primi generatori erano poveri e rigidi ; neppure l'applicazione del controllo del voltaggio aveva potuto radicalmente risolvere la situazione della musica elettronica.

Si era allora (1965-70) alla fase degli oggetti sonori (non parlo di quelli musicali di Pierre Schaffer) : questi oggetti sonori erano almeno per il mio gruppo solo eventi percepibili acusticamente strutturati in modo limitato secondo un calcolo combinatorio.

Si poteva paragonare tali oggetti a una gabbia di fili rappresentati dagli eventi sonori. Evidentemente si considerava il nostro orecchio un ricevitore neutro e impassibile. Al termine ⁱⁿ comunicazione si era sostituito quello d'informazione sonora, ma a quale livello? Semplicemente come realizzazione di tecniche qualificate a livello di fattura. La musica dunque era ridotta alla sola acustica e il prodotto era neutrale sia per il produttore che per il fruitore.

Alla comparsa del sintetizzatore anche i piccoli studi di ricerca finirono sul piano scientifico . Permettetemi di leggervi a proposito del sintetizzatore (grandi e piccoli) una breve satira che scrissi nel 76/ \checkmark (Naturalmente si tratta di un intermezzo scherzoso. Certo si può controllare il Sintetizzatore con il computer ma allora tanto vale secondo me rivolgersi direttamente al computer.

Eccoci dunque arrivati alla prima formulazione dei linguaggi avvenuta a Standford intorno al 69 che finalmente ha permesso ai musicisti di avvicinarsi al grande maestro potendo dialogare con lui stimolati nel loro pensiero musicale ma anche tenuti a freno dalla necessità di dare al computer dati precisi ed esaurienti. E' difficile trovare oggi un musicista o anche uno studente di elettronica che ritorni ai mezzi analogici dopo aver anche solo assaggiato una minima parte di quello che possono offrire i mezzi digitali. E questo nonostante la relativa lentezza con cui il computer ci risponde quando non lo si utilizza in tempo reale. Ritengo che per il compositore il tempo reale sia una condizione imprescindibile il suo operare divenga veramente dialogante con il computer.

Per quello che mi riguarda il passaggio dai mezzi analogici a quelli digitali ha avuto lo strano effetto di riportarmi ai al tempo felice delle prime esperienze quando un paio di generatori, un filtro passabanda , un frequenzimetro e 2 registratori bastavano per ottenere agglomerati o fasci di frequenze che potevamo almeno controllare nell'altezza e nella durata se non nel timbro. E' stata la lunga oscura epoca della ricerca che ci salvava dallo sgomento di trovarci davanti alla così dette possibilità infinite dei nuovi mezzi, i quali invece erano limitatissimi tanto da scoraggiare come ho già detto tutta una generazione di musicisti. Ora a un ben altro livello siamo ritornati sul terreno più siccuro della ricerca e della prima produzione musicale . Niente da

stupirci dunque che il parametro timbro rimasto fino ad oggi il più problematico e inafferrabile sia stato il principale oggetto di ricerche e sperimentazioni. Quelle compiute da Risset sono ormai celebri. Le analisi di Grey ci avevano aiutato a penetrare nel mistero dei timbri degli strumenti tradizionali ; gli esperimenti successivi si possono paragonare a quello che avviene negli esperimenti di fisica nucleare quando aggiungendo o togliendo particelle elementari si ottengono nuovi elementi. Ora intervenendo sulle bande di armoniche laterali al suono fondamentale noi possiamo dar loro un ordine e numero diverso in modo- da ottenere un timbro nuovo sempre più prevedibile e caratterizzato.

Dopo due anni di aperimentazioni in questo senso , l'idea di una composizione fatta solo di un numero limitato di segnali caratterizzati da timbri diversi è nata naturalmente . Veramente un seguito di segnali con timbri diversi non si può ancora chiamare composizione. Ecco dunque imporsi il problema della forma rimasto fino ad ora trascurato o addirittura non considerato come problema. L'evoluzione storica è sempre stata lenta nella trasformazione delle forme o meglio nella scoperta di forme aderenti ai nuovi e ai nuovi mezzi . Così ogni volta abbiamo ricomposto " la Canzona da sonar . Ora tutta la tradizione strumentale pesa ancora nell'uso del computer; ~~maxforse~~ non si tratta più di dissacrare i modelli del passato ma di rimettere tutto in questione . Credo che anche in questo campo Varèse sia uno di quelli che ha visto più lontano anche in un'epoca in cui l'uso del computer a scopi musicali non era ancora incominciato. Il concetto del continuum e lo sfruttamento dell'immensa memoria del computer ci possono aiutare a concepire un flusso sonoro in incessante trasformazione un processo evolutivo che porta in se stesso di volta in volta gli elementi della sua evoluzione come la crescita di una pianta. Che questo processo duri 300 anni o 3 minuti non muta niente al suo negarsi ad ogni contrapposizione dialettica . Per una concezione in cui il continuum coinvolgerà tutti i parametri

compreso quello spaziale, il cervello dell'uomo non basterà mai senza l'aiuto di quello del computer e probabilmente i risultati andranno oltre le previsioni dell'uomo. Non per questo io sono d'accordo con l'affermazione di Cage : dove l'uomo non ha previsto i risultati, allora è lì la macchina che ha creato. Non ho nessun'intenzione di entrare in questo tipo di discussioni che ci porterebbero fino alla cosmologia.

Constatiamo solo che il computer non è già più il grande mostro al quale possono avvicinarsi pochi eletti. I calcolatori sono sempre più miniaturizzati e il loro costo diventa sempre più accessibile. Gli stessi programmi si vanno sempre più semplificando in modo che è facile prevedere un uso molto generalizzato di questo che non si può chiamare il nuovo strumento ma una fucina di nuovi strumenti. Ogni compositore può chiedere e ottenere dal computer esattamente quegli strumenti che gli sono necessari per realizzare la sua idea e che si rinnoveranno di volta in volta. Questo è stato il mio primo approccio al calcolatore ma già sappiamo che questo è solo il primo passo, ~~ma~~ potremo chiedere cioè non solo il materiale ma ^{la} strutturazione automatica del materiale. stesso.

In conclusione credo che, dopo la registrazione su nastro, l'avvenimento assolutamente rinnovatore nel campo della musica sia la composizione a mezzo computer. Non a caso questo avvenimento ha già avuto una specie di sanzione ufficiale come mai prima era avvenuta : il fatto che l'Unesco abbia organizzato l'estate scorsa due settimane di workshop aperte a tutti in tutti gli studi del mondo ha il suo significato.

~~Le~~ Sintetizzatore

Ci dicono che l'uomo è fatto a somiglianza del suo creatore.

Poveri noi. Quel creatore non aveva certo studiato programmazione.

Ha mescolato tutti i dati e ha caricato alla rinfusa. Non si capisce come l'universo non si sia rifiutato.

Almeno il computer dice stop e , cortesemente ti da dell'imbécille.

L'universo invece finge di funzionare. E' la stessa storia del sintetizzatore : pare una macchina ma se la tocchi reagisce emotivamente da caso patologico. Infatti adesso evitano di toccarlo.

I controlli ci sono ma sono i controllati che se ne fregano.

L'ampiezza non si sa dove comincia e dove finisce; non parliamo dell'altezza , si possono distinguere a malapena i bassi dagli acuti. Il timbro è una specie di frittata; il ritmo magari lo becchi per qualche secondo ma se ti sogni di sfiorare il solito controllo quello si mette a scattare all'impazzata. In compenso il sequinzer è di un'ostinazione che ha del sadico : certo puoi variare ma allora si ostina nella variazione e non è mai finita .

L'unico posto in cui questa macchina o meglio coacervo di macchine funziona è il Random. Quello è il suo campo e ce la fa da padrone. Ha eliminato il suo creatore , gli ^{ha} imposto di assistere impotente alle catastrofi della logica!

Maggio 1976

FAUSTO RAZZI - Riflessioni su una realizzazione.

(Progetto per una composizione elettronica)

PRIMESSA

questo lavoro è stato progettato nel 1971/73 e realizzato nello scorso anno: mi sembra necessario tener conto di questa circostanza nella valutazione del pezzo, che è il riflesso e il risultato di una mia situazione e di miei interessi di quegli anni.

DESCRIZIONE

Credo utile iniziare riportando alcuni passi dell'introduzione da me posta al "Progetto", come indicazione delle esigenze che mi hanno portato a ideare un lavoro realizzabile con l'ausilio di un calcolatore.

"....se pensiamo tuttavia che il nostro grado di sensibilità per cettiva è presumibilmente in rapporto diretto con il mondo sono ro con il quale siamo stati finora in contatto (in altre parole, noi sentiamo ciò che siamo abituati a sentire, rifiutando tutto quanto oltrepassa quello che riteniamo rappresenti il normale li mite di utilizzazione), non possiamo allora non tener conto di due fatti: 1°, l'affinamento di sensibilità si è sempre verificato all'interno dei limiti propri degli strumenti musicali tradi zionali, limiti peraltro denunciati da tempo (Busoni, Varèse); 2°, l'estrema precisione degli strumenti di cui possiamo ora disporre (apparati elettroacustici, particolarmente in connessione con l'uso del calcolatore) ci permette di valicare tali limi ti, poiché essi dipendono sia dalle caratteristiche fisiche degli strumenti tradizionali, sia dalle possibilità fisiologiche degli esecutori.

Per ottenere un affinamento di sensibilità al di fuori dei limi ti tradizionali sembra però necessario capovolgere il rapporto finora esistito tra uomo e strumento: e non nel senso di una pre valenza della macchina sull'uomo, costretto a subirne passivamente le scelte, ma b'ninteso nel senso che alla macchina sarebbe affidato il compito di guidare l'uomo nel riconoscimento di valo ri che egli è in grado di stabilire solo teoricamente. (....)" "Si potrebbe quindi giungere ad una struttura sonora costituita da precise relazioni tra rapporti di frequenza, le quali a loro volta potrebbero articolarsi secondo rapporti spazio/temporali regolati da criteri analoghi. (....)"

In sintesi - e senza addentrarmi in una descrizione dettagliata

che non ritengo necessaria in questa sede - si tratta di una struttura regolata da rapporti precisi (tempo/frequenza/intensità) che ovviamente non sarebbero stati ottenibili con strumenti tradizionali.

Ritengo invece importante sottolineare che la stesura della partitura è avvenuta con procedimenti analoghi a quelli necessari per la stesura delle mie partiture per strumenti - a parte ovviamente la maggiore complessità -, in quanto il calcolatore è stato inteso come coordinatore: il pensiero non è quindi condizionato dalla macchina, non rinuncia alla propria autonomia: la situazione è caratterizzata da un rapporto uomo/macchina in una direzione storicamente corretta.

Per ragioni pratiche la realizzazione ha trascurato alcuni aspetti, il più importante dei quali è senza dubbio il problema del timbro. Inizialmente il "progetto" doveva impiegare esclusivamente suoni sinusoidali: le defezienze del laboratorio in cui il lavoro è stato realizzato (sulle quali mi soffermerò più avanti) non hanno permesso se non in parte uno studio sul timbro quale risultato di battimenti multipli e continuamente mutevoli.

REALIZZAZIONE

Questa è stata possibile grazie alla collaborazione del fisico Enrico Chiarucci - che ho conosciuto circa quattro anni fa - in quanto (al di là dei problemi pratici di traduzione dei dati) tutto il lavoro è stato caratterizzato da una continua, profonda e proficua discussione.

Tralascio la storia della nostra annosa ricerca di una sede: tutte le difficoltà (anche se sintomatiche di una difficile situazione italiana) fanno parte della storia personale. E' stato comunque possibile realizzare il "progetto" all'Università di Napoli, per la collaborazione del Gruppo di Acustica elettronica della Facoltà di Fisica sperimentale (costituito da Peppino Di Giugno), ed in particolare del fisico Sergio Cavalieri.

I limiti principali di questa realizzazione sono, a mio avviso, di tu ordini:

- a) limiti contingenti: riguardano essenzialmente la scarsa affidabilità - direi anzi la faticosità - delle attrezzature, dal calcolatore all'amplificatore e allo stesso modello esistente a Napoli di quel "calcolatore veloce orientato", ideato da Di Giugno e dal suo gruppo (Fedullo/Ortosecco/Cavalieri). Tale situazione è pressoché esclusivamente riconducibile allo scarso interesse che l'Università stessa ha finora dimostrato per la ricerca di Di Giugno.
- b) limiti dello strumento: la necessità di realizzare un lavoro progettato prima (senza cioè conoscere le possibilità specifiche dello strumento napoletano) ha imposto vari adattamenti:

- solo*
- la possibilità di accettare un numero limitato di dati ha reso necessaria una realizzazione in tre momenti successivi, ottenendo tre fasce che si è dovuto mixare in un secondo tempo
 - alla stessa ragione dev'essere ricondotta la qualità insoddisfacente di alcuni attacchi del suono;
 - è stato del pari necessario comprimere più del previsto la fascia dinamica.

Mi sembra necessario accennare a questa serie di problemi, anche se ovviamente ~~le soluzioni adottate risultano~~ ~~risultano~~ un compromesso di cui siamo stati ben coscienti e che quindi non consideriamo un difetto di importanza essenziale.

c) limiti di fondo: nascono anch'essi dallo iato tra progetto e capacità di realizzazione dello strumento: non è stato infatti possibile sfruttare quest'ultimo in tutta una serie di soluzioni, attuabili solo se in presenza di un progetto che presentasse diverse, più limitate esigenze.

CONSIDERAZIONI

Da tutto ciò risulta evidente:

- 1) la necessità di un continuo lavoro di gruppo al momento della realizzazione, sulla base di un progetto commisurato alle reali capacità dello strumento;
- 2) la necessità di usufruire di sedi adeguate, sia dal punto di vista della qualità delle attrezzature, sia da quello della funzionalità degli spazi di lavoro: non è infatti pensabile una ricerca in tempi minimi (p.es. quelli offerti - per una produzione 'radizionale' - dallo studio di fonologia della RAI).

I due punti vanno tenuti presenti per raggiungere una collaborazione che assicuri risultati positivi: si dimentica spesso la differente formazione e la differente mentalità del musicista e del fisico; la convergenza di interessi non comporta necessariamente una convergenza di sensibilità, e spesso alla difficoltà per il musicista ad entrare in una mentalità matematica corrisponde una difficoltà da parte del fisico a comprendere le reali esigenze di ordine musicale.

Solo dunque dalla giusta impostazione del rapporto possono nascere risultati significativi. Ciò anche in vista del rapporto con un ascoltatore che è si interessato alla musica "elettronica" (o anche - più in generale - al problema dell'incontro tra musica e scienza), ma anche sempre più evidentemente condizionato - o condizionabile - da musiche elettroniche di segno diverso (fantascienza ecc.).

E' infine abbastanza ovvio giudicare deludenti - proprio anche dal punto di vista del suono - i lavori finora realizzati: ma è forse importante non dimenticare che siamo solamente all'inizio di un discorso per il quale la nostra storia passata ci aiuta fino ad un certo

punto: stiamo muovendo i primi passi in una direzione che non riguarda solamente l'uso di un nuovo strumento (ossia la possibilità di dire meglio le stesse cose di prima) ma comporta al contrario l'ipotesi di un disancoramento da schemi tradizionali.

Si può comunque ricordare, per analogia, l'inadeguatezza del primo fortepiano rispetto alla perfezione del clavicembalo: o, forse meglio, la contrapposizione tra il discorso sul clavicembalo, estremamente libero nella sua flessibilità temporale - usata come principale mezzo di differenziazione espressiva - e il discorso sul fortepiano, il quale (mano a mano che lo strumento veniva perfezionandosi dal punto di vista tecnico) perse gradualmente, per l'acquisizione di nuove possibilità espressive, proprio quella flessibilità della dimensione temporale, che solo più tardi venne riconsiderata e riconquistata.

MARIO BARONI - CARLO JACOBONI

ANALOGIE FORMALI IN FRASI DIVERSE DI UNA COMPOSIZIONE MONODICA

1. I contenuti della comunicazione che presentiamo sono parte di un progetto più vasto di cui gli autori hanno riferito anche al precedente colloquio sull'informatica musicale che ha visto luogo a Milano il 14 dicembre 1977.

Il progetto, che riprende su basi più ampie una ricerca precedente sull'analisi e generazione di frasi melodiche ⁽¹⁾, si propone di individuare le regole di una grammatica generativa che sia in grado di produrre melodie di corali luterani nello stile di quelle che J.S.Bach ha armonizzato a 4 voci e che il figlio C.Ph. Emmanuel ha raccolto in volume ⁽²⁾.

In questa sede non entreremo nei dettagli dell'intero progetto, ma ne illustreremo una parte: quella che riguarda lo studio delle analogie formali che legano le diverse frasi di un corale assicurandone una unità globale. Si tratta di un problema che, nel caso dei corali, si presenta in forme particolarmente delicate e complesse; mentre infatti, nelle melodie composte da Bach o da suoi contemporanei per altre occasioni, l'unità formale della composizione viene di norma assicurata da un lavoro tematico esplicito e consapevole, non codificato da precise regole ma ben visibile all'osservazione, nelle melodie tradizionali del corale luterano il gioco interno delle corrispondenze, dei richia-

(1) M.BARONI, C.JACOBONI, Proposal for a grammar of melody. The Bach Chorales, Les Presses de l'Université de Montréal, 1978.

(2) Il corpus di melodie che abbiamo utilizzato come modello stilistico è quello contenuto in Johann Sebastian Bach vierstimmige Choralgesänge gesammelt von C.Ph.Emmanuel Bach und J.Ph. Kirnberger, Leipzig 1784-87 e pubblicato in edizione moderna nel vol. XXXIX della 'Bach Gesellschaft Ausgabe'.

mi, delle analogie fra frase e frase o tra frammenti di frasi è quasi sempre del tutto implicito, intuibile all'ascolto, ma assai più sfuggente all'analisi.

Lo scopo di questa comunicazione è appunto quello di descrivere un meccanismo generativo capace di produrre, attraverso l'applicazione di un numero limitato di regole, un insieme di frasi di corale (nello stile dei corali del corpus prescelto) fra loro legate da un sistema di analogie e di richiami che corrisponda a quello del modello adottato.

2. Prima di descrivere tale meccanismo dovremo tuttavia accennare, sia pure per sommi capi, ad altri aspetti dell'intero progetto dei quali la nostra descrizione non può fare a meno di tener conto; in particolare dovremo parlare inizialmente delle regole generali di produzione di una frase melodica.

Secondo l'ipotesi che noi avanziamo, ogni frase melodica può essere prodotta da un insieme di regole generative che permattano di passare da un 'nucleo' composto dalle sole note iniziale e conclusiva, alla frase nella sua veste finale, attraverso una serie di regole di sostituzione⁽³⁾. Per chiarire questi procedimenti preciseremo ora alcuni dettagli della nostra ipotesi:

a) Nucleo : è costituito da un intervallo (da 0 a 5 secondo una ipotesi provvisoria) che fissa il rapporto fra la prima nota in tempo forte e la nota conclusiva della frase.

(3) non è neppure il caso di sottolineare l'ispirazione dichiaratamente chomskiana delle nostre ipotesi che traspare del resto dalla stessa terminologia adottata. Non si dovranno tuttavia cercare corrispondenze che vadano al di là dell'adozione di certi fondamentali strumenti di pensiero. Il nostro progressivo avvicinamento alla teoria generativo-trasformazionale ha seguito un iter del tutto 'musicologico' e non è stato suggerito dalla volontà di trasferire direttamente al linguaggio musicale i metodi d'analisi del linguaggio verbale.

b) Regole di sostituzione : la 'scala nucleare' è il risultato della prima sostituzione; essa connette con gradi a scala le due note del nucleo quando l'intervallo sia ≥ 2 (dove per 2 si intende la terza). Altre sostituzioni modificano successivamente la scala nucleare. Queste avvengono scegliendo volta per volta a caso la nota alla quale vanno applicate; per ogni nota la scelta della sostituzione è automaticamente limitata dal contesto in cui la nota si trova; all'interno del paradigma delle sostituzioni applicabili la scelta è casuale. Il paradigma completo delle sostituzioni possibili è composto delle seguenti figure:

REPETIZIONE

8



APPOGGI ATTIRA

47



VOLTA

V1 (2,3..) \pm



SALTO

$$S_1(2,3_{\infty}) +$$

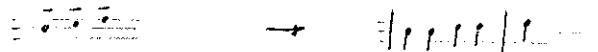


I simboli —, ⊖ indicano rispettivamente tempo forte e tempo debole.
La mancanza del simbolo indica assenza di obblighi in proposito.

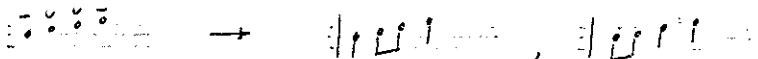
L'ultima regola di sostituzione muta i segni d'accento in segni di durata inserendoli nella battuta, le note generate:



Due tempi forti consecutivi vengono sciolti in ripetizioni:



Due tempi deboli consecutivi vengono contratti in note di 1/8:



c) Controlli: L'espansione del nucleo si arresta quando si è raggiunta la durata voluta. A questo punto la frase così ottenuta viene sottoposta a particolari controlli che riguardano alcuni aspetti della sua struttura. Indichiamo i seguenti a titolo di esempio:

tritono: si verifica che la generazione non abbia prodotto intervalli di tritono o successioni, non ammesse nello stile del corale, che contengano questo intervallo.

cadenza: si verifica che la parte terminale della frase non possieda un profilo melodico incompatibile con le strutture cadenzali del corale.

contrazioni: si verifica che le contrazioni generate con l'ultima regola di sostituzione non producano successioni 'proibite' di note brevi.

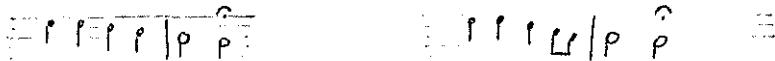
Se queste verifiche (e ovviamente molte altre che qui omettiamo per brevità) risultano negative la frase viene rigettata; ciò significa che si riparte dalla scala nucleare e si applicano sostituzioni diverse dalle precedenti.

3. Dalla descrizione dei meccanismi della generazione risulta che alcuni elementi della struttura della frase devono essere stabiliti prima della sua vera e propria composizione; abbiamo citato ad esempio la sua durata (che è necessario conoscere preventivamente per sapere a che punto arrestare l'espansione del nucleo e che fra l'altro nel nostro caso è imposta da un parametro esterno qual'è il metro del testo letterario); potremmo ancora citare la tonalità finale della frase (che è necessario conoscere per interpretare la cadenza e valutarne la correttezza); a ancora affermeremo necessario avere il quadro generale della successione delle note finali delle frasi del corale. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto crediamo infatti che la successione delle finali di frase non possa essere lasciata al caso ma debba essere strutturata secondo regole autonome rispetto a quelle che generano le singole frasi e tali anzi da governare la scelta dei loro punti di arrivo.

Non insisteremo sulle regole globali di strutturazione di questi elementi fondamentali del corale (durata, tonalità, nota finale e loro successioni) perché ne abbiamo parlato diffusamente nel precedente già ricordato colloquio di Milano. Ci limitiamo, a questo punto, a ribadire semplicemente come la generazione debba implicare per necessità due aspetti: uno che stabilisce i rapporti fra le frasi e uno che si riferisce alla loro produzione. Ma mentre i meccanismi che abbiamo descritto fino a questo punto riguardano questi aspetti separatamente presi, il problema che affronteremo ora si riferisce contemporaneamente a entrambi.

4. L'ipotesi sulla quale ci basiamo per descrivere le relazioni di affinità tematica fra le frasi di un corale è che queste relazioni possano collocarsi a livelli generativi diversi, più o meno vicini al nucleo o più o meno vicini alla frase finita. A questa conclusione siamo giunti analizzando esempi (come i seguenti) che il campione ci forniva:

Corale B.A.39°, 61 (Jesu meine freude); frasi 1 e 6:

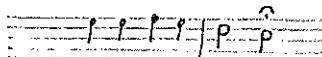


In questo caso, come si vede, la differenza fra le due frasi è data solo dalla presenza o dall'assenza della fioritura.

Confronti fra altre frasi dello stesso corale mettono però in rilievo analogie meno evidenti e più rilevanti. Si prenda ad esempio la frase 4:

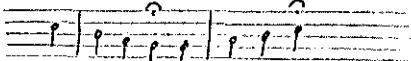


La differenza rispetto alla frase 1 è data anche qui anzitutto dalla presenza della fioritura. Ma se togliamo la fioritura e riduciamo la frase alla sua struttura semplice ottenendo

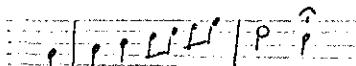


possiamo constatare come la successione FA-MI-RE-DO corrisponda esattamente al RE-DO-SI-LA della frase 1 trasposto una terza sopra.

In altri casi la differenza, anziché dalla trasposizione è generata dall'inversione di parti di frasi o della intera frase, come accade in questo frammento iniziale del corale Ach Gott und Herr (B.A.39°, n.3)



In altri casi ancora è data invece dal taglio di una parte della frase; si confronti ad esempio la frase n.2 con la n.6 del medesimo corale:



Esempi di questo genere ci hanno indotto ad avanzare l'ipotesi che tutte le frasi che abbiamo reciprocamente confrontato siano nate da un identico processo di generazione e che gli elementi che le diversificano siano intervenuti successivamente, sia che si trattasse della applicazione di fioriture, sia che si trattasse di un meccanismo di trasformazione più complesso basato sui principi della trasposizione, della inversione e del taglio.

Il corale nel suo complesso può dunque venire prodotto da un apparato generativo-trasformazionale a più livelli ciascuno caratterizzato da operazioni proprie:

Nucleo	intervallo fra nota iniziale e finale	}	ESPANSIONE
Frasi primitive	ottenute applicando al nucleo le regole di sostituzione		TRASFORMAZIONE
Frasi trasformate	ottenute applicando opportune trasformazioni alle frasi primitive: tagli, trasposizioni, inversioni		
Frasi superficiali	ottenute applicando alle frasi trasformate fioriture o altre modificazioni che non ne alterano la linea melodica fondamentale		COMPLETAMENTO

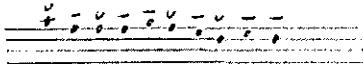
5. Le analogie formali fra le diverse frasi di un corale possono appartenere a livelli generativi diversi; abbiamo visto prima esempi di frasi che avevano subito i medesimi processi di espansione e di trasformazione e si differenziavano solo nell'ultima delle tre fasi (presenza o assenza di fioritura); abbiamo poi esaminato esempi di frasi che si differenziavano nella fase della trasformazione pure avendo avuto in comune l'intero processo di espansione. Queste due possibilità non sono tuttavia sufficienti a esaurire tutti i casi di analogia presenti nel campione, o perlomeno a spiegarli in maniera semplice. Si vedano ad esempio le frasi 4 e 6 del corale Lobet den Herren (B.A.39°, n. 121)



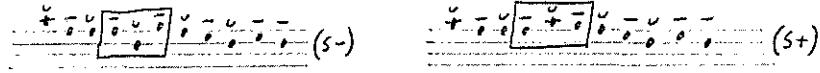
Qui la rete delle analogie è fitta e complicata: le tre note ribattute, il salto di terza che le segue (ma discendente o ascendente), le successive quattro note a scala, il grado congiunto (pure ascendente o discendente) delle due note finali sono altrettanti elementi comuni ciascuno dei quali ha relazioni diverse col suo corrispondente. Ma se noi volessimo spiegare questo insieme di analogie servendoci unicamente dei meccanismi trasformazionali prima descritti dovremmo immaginare regole di applicazione estremamente complesse e eccessivamente libere.

Senza contare che in molti altri casi le tre trasformazioni proposte non sarebbero in grado di risolvere questi problemi neppure se applicate con procedimenti complessi o liberi.

Assai più semplice diventa invece la spiegazione delle relazioni d'analogia proposte dall'esempio se si avanza l'ipotesi che la differenza fra le due frasi risalga a una fase più remota, cioè al primo dei tre livelli generativi. Poniamo dunque che il processo di espansione del nucleo nelle due frasi sia stato comune fino a questo punto:



e che invece l'ultima delle sostituzioni sia stata diversa:



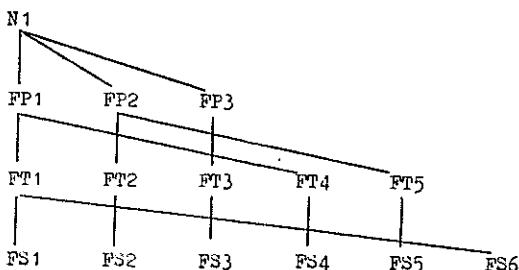
Si tratta come si vede, di una diversità relativa; la nota a cui viene applicata la figura del salto è la medesima e comune è ovviamente anche la scelta della figura fra tutte quelle disponibili; uguale è anche l'ampiezza del salto; ciò che diversifica le due frasi è solo la direzione (S_+ / S_-). Naturalmente altri esempi possono presentare differenze assai più rilevanti; per esempio separarsi in un punto più arretrato del processo di espansione del nucleo o scegliere figure diverse e applicarle su note diverse. Ma abbiamo scelto l'esempio del corale per dimostrare come il ricorso a queste divergenze di natura più remota non solo spieghi casi non risolvibili ai due livelli successivi, ma semplifichi anche casi particolarmente complessi di spostamento e di inversione. Nel nostro caso infatti basta applicare alla prima delle due frasi così ottenute due sole trasformazioni (trasposizione di un tono - anacròsi esclusa - e inversione degli ultimi due intervalli):



per avere la versione finale che il testo bachiano ci offre.

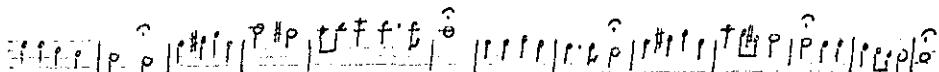
6. A questo punto è necessario essere in possesso di una struttura che, a partire da certi principi, stabilisca quali frasi di un corale hanno relazioni reciproche e a quali livelli. L'analisi del corpus ci ha suggerito a questo proposito che ogni corale parta da un numero assai limitato di nuclei fra loro indipendenti. Non è possibile stabilire con assoluta precisione il numero dei nuclei di un corale perché i nostri strumenti di analisi non ce lo consentono. La ricostruzione dei processi generativi a partire dall'osservazione di frasi superficiali si imbatte infatti continuamente in problemi di ambiguità: a uno stesso risultato si può pervenire seguendo strade diverse e d'altra parte è dimostrato anche che relazioni di simiglianza possono determinarsi casualmente senza che ad esse corrispondano esplicativi procedimenti generativi. Queste considerazioni ci hanno suggerito di limitare arbitrariamente a due il numero dei nuclei di ogni corale.

La differenza fra il numero delle frasi superficiali e il numero dei nuclei ci indica il numero dei rapporti di parentela che esistono fra le frasi; ma questi rapporti possono essere, come prima si affermava, più o meno profondi, cioè possono collocarsi al livello delle espansioni, delle trasformazioni o dei completamenti. La distribuzione dei vari rapporti ai diversi livelli può avvenire attraverso l'adozione di un albero generativo come il seguente, che si riferisce al già citato corale n. 61 (Jesu meine Freude):



Come si vede dallo schema ogni nucleo può generare più di una frase primitiva (FP) ciascuna delle quali può generare più di una frase trasformata (FT) che a sua volta può dare origine a più frasi superficiali (FS). L'ordine di successione con cui le frasi compaiono nella sequenza finale non è sottoposto a vincoli. Può accadere ad esempio, come abbiamo constatato nel corale che stiamo esaminando, che le FS1 e FS6 derivino da una stessa FT. Per questa ragione a tutti i livelli le frecce che indicano la derivazione possono intersecarsi.

Ciascuno dei passaggi da un livello al livello successivo richiede naturalmente una serie di operazioni la cui programmazione è notevolmente articolata e complessa; è impossibile in questa sede entrare in tutti i dettagli di questo processo. Ci limiteremo dunque solo a fornire alcuni esempi tratti ancora una volta dal corale n.61 che qui ora riportiamo per esteso:



Due precisazioni sono a questo punto necessarie:

1. il corale è stato trascritto nella tonalità di LA perché tutti i corali del corpus, per semplificare l'analisi, sono stati normalizzati a LA e DO.
2. abbiamo adottato l'ipotesi che nelle fasi più profonde della generazione la frase venga concepita come puro e semplice profilo melodico non ancora dotato di proprietà tonali. La tonalità (e dunque anche la posizione della frase nel pentagramma) vengono introdotte in una fase successiva del processo.

Ciò premesso indichiamo qui i momenti fondamentali della nostra ipotesi generativa del corale n. 61:

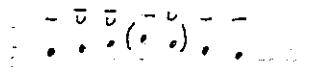
NUCLEO



ESPANSIONI

Livello comune delle FP : il nucleo

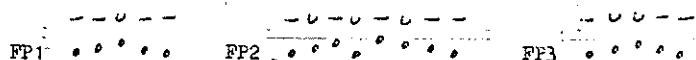
I sostituzione : V+ con dimensioni diverse (+2 o +3) e accenti diversi nelle tre frasi:



II sostituzione : la seconda frase aggiunge ancora S- :



Forma finale delle FP :

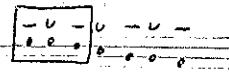


In ogni frase i tempi forti successivi (---) vengono sciolti: -v-

TRASFORMAZIONI

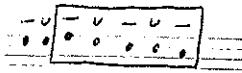
Derivazioni da FP1

FT1



Inversione

FT4



Inversione come FT1
poi Trasposizione
(+2)

Derivazioni da FP2

FT2



Taglio

FT5

Nessuna trasform.

Derivazioni da FP3

FT3

Nessuna trasform.

COPPLETAMENTI

Derivazioni da FT1

FT6

Fioritura

AUTOMATIC TRANSCRIPTION OF GERMAN LUTE TABLATURES :
FROM ABSTRACT TO POLYPHONIC NOTATION.

HELENE CHARNASSE

Despite the work accomplished by several generations of musicologists, the repertory of music before 1700 is far from well known. The libraries do indeed conserve large collections of manuscripts and printed works; but they are not always directly accessible. This problem affects in particular the repertory, from the sixteenth to eighteenth century, of music intended for "plucked string" instruments, such as the lute, guitar, vihuela, cittern, harp and their derivatives. This music is notated in the form of tablature. A long and minute task of transcription becomes thus necessary. The E.R.A.T.T.O. team of the C.N.R.S. has specialized in the automation of this type of transcription. The name signifies "research team for the analysis and transcription of tablatures by computer". Our offices are located in a center for interdisciplinary research, in Ivry - that being on the southern outskirts of Paris.

• • •

Tablature notation, intended solely for instrumentalists, is distinguished from proportional notation by its practicality. It does not use notes and clefs to indicate pitches, but rather a series of symbols (letters, numbers, special signs) which indicate to the performer the positions of his fingers on the instrument. For example, which key to press on the organ, string to pluck on the harp, finger positions of the left hand for pressing the strings down on the neck of the lute or the guitar.



Giacomo GORZANIS, *Il terzo libro de intabolatura di liuto*, 1564, fol. A'.

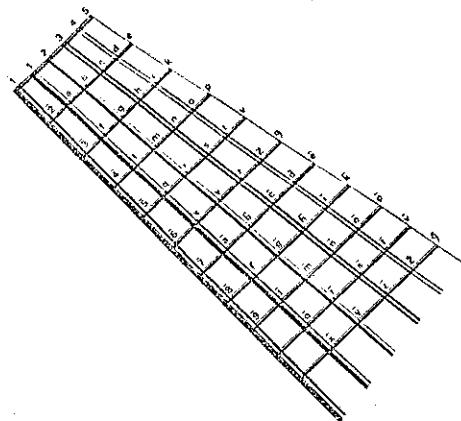
This is an Italian lute tablature of the sixteenth century. The six lines represent the strings of the instrument. The numbers written on these lines indicate the fret on the neck behind which the string must be pressed down. The lines read from top to bottom, the highest line indicating the lowest string. The open string notes are indicated by 0, the first fret by 1, the second by 2, the third by 3, etc. Above, we find the indication of note values.

Such a tablature is relatively easy to decipher ; the notation gives directly all the necessary playing indications : the string, the fret, and sometimes the direction in which the string should be plucked. So, many lutenists don't want transcriptions, but it is not the same thing for another tablature system employed in the sixteenth century : that is, german lute tablature.

Mitregreco.	$\begin{matrix} f & f \\ n & n \end{matrix}$	$\begin{matrix} f & f \\ 4 & 4 \end{matrix}$	$\begin{matrix} f & f \\ 3 & 3 \end{matrix}$	$\begin{matrix} f & f \\ 2 & 2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} f & f \\ 1 & 1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} f & f \\ 0 & 0 \end{matrix}$
	$\begin{matrix} f & f \\ 1 & 1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} f & f \\ 2 & 2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} f & f \\ 3 & 3 \end{matrix}$	$\begin{matrix} f & f \\ 4 & 4 \end{matrix}$	$\begin{matrix} f & f \\ 5 & 5 \end{matrix}$	$\begin{matrix} f & f \\ 6 & 6 \end{matrix}$

Hans GERLE, *Tabulatur auff die Laudten*, 1533, fol. XLIII'.

This tablature is quite peculiar. Instead of a line representing each string, we have a series of symbols - letters, numbers and additional signs - presented abstractly, one after the other. Each intersection of string and fret is indicated by a specific symbol.



Manche de luth, avec
les caractères employés par
Hans GERLE dans

*Ein Newes sehr
Kunstlich Lautenbuchs,*,
1552, éd. Paris,
Elmeratto, 1978.

Thus, the author gives us only the symbols and their relationship. If they are isolated, they are played alone, if they are superimposed, then they are played together, as a chord. Duration signs are written, as in the preceding tablature, over these symbols.

The difficulty of german lute tablature lies in its presentation, and in the great number of signs to be memorized. For the six-course lute, used until fifteen-fifty, there are fifty-four of these signs already, and the number of strings and frets will not stop growing with the result that everyday use of german lute tablature will be abandoned by the end of the century.

Today, an occasional rare performer learns to read this tablature directly. As for the musicologists, it represents a real nightmare. Transcribing a single page of german lute tablature takes easily three hours of work. Over thirty printed collections from between fifteen eleven and fifteen ninety-two have come down to us, but only a very few have thus far been transcribed in full. An important repertory thereby remains unknown. On the other hand, the procedures used - letters, numbers, special characters - and the internal logic inherent in this system, make it a perfect research subject for computer treatment.

• • •

The National Center for Scientific Research, being interested in this work, accepted in nineteen seventy-three to subsidized a

research group. At that time we where only two full-time reaserchers (Henri Ducasse, computer scientist, and myself), aided by a Swiss musicologist, Raymond Meylan. But the group has expanded ; we are now four C.N.R.S. researchers to which several students may be added.

• • •

Tablature notation being distinguished from proportional notation, it was not possible to use one of the existing input langage, like IML-MIR, *Plain an easie code system*, DARM'S. We have had to create entirely our own methodology, both in its musicological and its computer-science aspects. That explains the slowness of the works.

For our first book, a lute book by Hans Gerle entitled *Tabulatur auff die Laudten*, (Nuremberg, 1533), we began, as would any musicologist working by hand, with the inventory of musical characters and symbols present in the tablature. The author uses :

- the alphabet, in the form of small letters, either alone or surmounted by a hyphon ;
- the numbers from one to eight, alone for the open strings or surmounted by a hyphon for the lowest string ;
- indications of note value, from whole note to sixteenth ;
- the corresponding rests ;
- barlines and dotted barlines ;
- pedal points ;
- and several metric indications.

Again, as the traditional musicologist, we established a serie of concordances between symbols and characters of the tablature and their equivalent in proportional notation. First of all, we established the concordance table between the symbols and the sounds emitted by a lute tuned in G (the most common tuning currently in Europe) :



After that, we established a table for the equivalence of note-values, reducing them by one half in order to obtain an easily readable transcription.

The second part of our work was half musicological and half computer programming : to find the best process for the input of the notation into machine. After studying the various possible processes, we decided on the simplest one, punch-card entries. However, it was not possible to transfer the tablature on to the punch-card as its stands. It was necessary to invent a coding system, for which the vocabulary and syntax correspond to the norms imposed by the computers.

◦ ◦ ◦

THE CODING SYSTEM.

Here, summarily described, are the elements of our coding system :

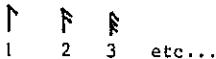
The vocabulary.

- letters and numbers alone pose no difficulties, and are simply recopied :
a → A
- letters and numbers surmounted by a hyphon are divided into two characters :
ā → - A ī → - i
- note values cannot be transferred as they are. They must

be replaced by symbols. Longer note values are represented by the initials of their name :

• = Breve -- B | = Semibreve -- S

- shorter values are represented by the number of flags on the stem :



In order to distinguish note value from pitch indications, the duration signs are always followed by the sign ; . For instance :

m as a semibreve value is coded : S ; M

r as a minim is coded : i ; R

- barlines and dotted barlines are simply reproduced
 - metric indications are also reproduced, but preceded by M ; ;

$$C \rightarrow M; C \qquad \psi \rightarrow M; C - \qquad \psi_3 \rightarrow M; C - 3$$

- pedal points are coded by the letter C, followed by the sign : ; .

The rests are not considered to be a special case. They are coded just as the notes, by the durational symbol, followed by ; and then by a character symbolising "rest". Like all the alphabetical and numerical symbols already used, we had to choose an additional symbol found on the punchcard keyboard - the dollar sign.

The syntax.

The coding process is very simple. The coder transfers, from top to bottom, vertical by vertical, the text given ; first the note-value, then the sound symbols.

The coding of a melodic line presents no difficulty:

~~FFFF F FFFF~~ 2 ; 3 2 ; C 2 ; N 2 ; C 1 ; 3 3 ; G etc.

But the treatment must know that it passes from one vertical to the next ; thus separators must be inserted between successive verticals. We chose the slash (/) :

2 ; 3 / 2 ; C / 2 ; N / 2 ; C / 1 ; 3 / 3 ; G / etc.

For simplification, it is not necessary to repeat the note-value indication if it remains the same for several notes. So we obtain :

2 : 3 / C / N / C / 1 : 3 / 3 : G / 2 / 9 / F

(here, the four semiminims are preceded by a single two).

If they are one or several symbols missing, be it for voluntary reasons, or through a typographical error, or because of the deterioration of the document, the missing symbols are coded 0 (zero). The 0 indicates to the computer that nothing is to be printed in that space, which should be left blank. This will be very useful for certain tablatures, which reproduce the polyphony of the vocal pieces on which they are modeled : the computer can thus reproduce the tablature as it is written.

The coding of chords is also done vertical by vertical, from top to bottom. First, the note value is coded, then the first symbol, then the second, etc. To identify the successive notes, separators are therefore necessary. We chose the comma , :

FFF FFF
n₃ g₂ / | / 1 ; N , R , - 3 / 2 ; C , G , - 4 / 3 , 2 / 1 ; G , 1 /
r₂ f₁ f₂ |
3 4

This coding system is simple enough to be learned by a non-musician, and rapid as well. One page of a Gerle tablature, containing fifteen to twenty measures, is thus coded in less than ten minutes.

8 - 10

The cards are then punched, and checked so as to track down any possible errors. The computer treatment is not carried out at Ivry, but at the Calculation Center of the C.N.R.S. for the parisian region,

in Orsay - about twenty five kilometers. There, we have two IBM 370/168 computers, a Benson plotter (that is a french company) and an electrostatic Versatec printer. There is, of course, much more equipment in this center, which is one of the biggest in the region.

◦ ◦ ◦

Programmes are written out by the computer scientist, Henri Ducasse. The treatment take place in three phases :

1° The coding is verified syntactically in order to check any errors remaining after the reading of the cards. For instance, are all the note-value indications followed by a ; ? Or are there, in any chord, two symbols representing sounds produced by the same string, which would be impossible ?

2° The symbols are identified, and the correspondence with the notes to be edited is pursued, by consulting the table previously established by the musicologist and put on memory. The identification of natural notes poses no problem. The identification of altered notes is more delicate. As we have seen, one single symbol represents two possible notes : G-sharp or A-flat, for example. The treatment must decide which note is to be chosen. Few elementary tests suffice to resolve most of the problematic cases. I have, however, set up a more elaborate method - which we hesitate to use, because the machine time required by the various determinations would raise the project costs.

When the notes to be edited are identified, the treatment proceeds with the calculation of the position of all C third's (on treble or bass clef), followed by the placement of the notes on each system, so as to obtain a regular margin on the right.

3° The last step of the computer treatment : the edition. It is presented in the habitual form for tablature transcriptions in France : a transcription in proportional notation on two staffs, with

treble and bass clefs and a reproduction of the original notation, underneath the transcription.

The resulting presentation can sometimes be surprising. In fact, we refuse to allow the least human interpretation, and the transcription thus remains a tone reflection of the original. So, there are some problems created by the ambiguities present in the tablature itself.

◦ ◦ ◦

EDITORIAL PROBLEMS.

The first lute books that we transcribed are notated in a tablature which I would call "abstract". The characters do not attempt to give a visual image of the musical fabric. The chords respect the logical superposition of sounds, but when a symbol is alone, it is systematically notated on the top line, regardless of its real vocal position.

In this notation nothing tells us visually :

- to which voice a given sound belongs,
- its note-value ; the value given by the duration symbol is only a minimal indication, and the possible note-lengths are not visible in the tablature.

Since we intend to publish an objective edition of the original, we have decided to edit a "raw" transcription. In other words :

- the note-heads are traced without stems (which leaves the part undetermined) ;
- the isolated notes are represented by a black note-head if the note-value sign is equal or inferior to a quarter-note, and by a white one if it is superior ;
- the chords remain in abstract state, in the form of whole-notes.

42. In illo tempore accesserunt., f. LIII'-LVI.

Hans GERLE, *Tabulatur auff die Laudten*, 1533, f° LIII'. Transcription automatique par l'équipe ERATTO, Fasc. IV, Paris, Sté Fse de Musicologie, 1977.

By returning to the vocal model, the musicologist can then reestablish the musical text : he needs only to locate the different parts and fill in the stems and note values. But this is not entirely satisfying.

◦ ◦ ◦

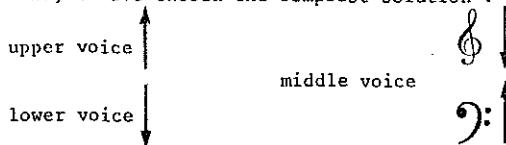
In order to make progress in our automation research, we have worked, since the beginning of 1978, on a more explicit kind of tablature, used by Hans Newsidler as early as 1536. This time, the author tries to sketch the overall vocal outline :

Hans NEWSIDLER, *Der ander theil des Lautenbuchs*, 1536, f° Jij'.

The three parts are represented both vertically and horizontally. Thus it seems possible to identify them easily and reconstruct the polyphonic structure of the piece. Perhaps we have here, at last, the necessary indications to obtain an automatically-interpreted transcription !

Thanks to our coding system, we can obtain :

- the identification of the voice-part to which each symbol belongs ;
 - the orientation of the corresponding note-stem. For this, I have chosen the simplest solution :



- the determination of the likely note-value of each sound, in the context of its own voice-part. The calculation is made horizontally, by accumulating the absent note-value :

1							F F F F	F F F F F F
2	2		2	2	2	P	P P + C + C + C + C	K P K S S S n
							4 4 d 4 n c	n + t + o + 4 t + C
						C	C C + D + D + D + O	t + o + t + C + t + o

Disant adiu madame, Hans NEWSIDLER, Der ander. theil des Lautenbuchs, 1536, f° B iij.

Naturally, I have had to adopt a few general rules, but they remain to be tested and are quite modifiable.

Here are the results obtained for a three-voice piece :

Music score for "The Star-Spangled Banner" with lyrics:

1 | | | | | | | F F F F | F F F F F |
 e e | o o | o P o | P P d 4 n o | k p k s o s n
 r o | c o | c C | C C | n e

The interpreted edition is almost entirely satisfactory. Unfortunately, here, it is not at all the same ; there is a lack of correspondence between the notation of certain voices and their true position in the polyphony :

6 f f f f f f f f f f f f f f f p # f f f
 o s k p , g , p k s k t
 f o n c 3 2 g 3 g 3 c n n c n c 3 g 3 1

Thus, the problem is not entirely solved ! Far reading facility, certain characters are raised up, which breaks the flow of the musical text. However, I could not believe in the presence of a meaningless fluke in a notation whose essential quality had always seemed to be its logic.

 . . .

Convinced that this notation obeyed some set of rules which was clear for its users, I began searching for it. I finally realized that it was a musical logic which determined this tablature. Notated in a synthetic way, for simplicity of reading, it becomes analytic in the hands of the lutenist, who thus must follow, unconsciously, some kind of algorithm. But which one ?

The various possible logical systems were examined :

- use of each string
- playing on the neck
- fingering
- looking for chords - complete or incomplete types, etc.

Now, I have come to the conclusion that there are two different algorithms, which are applied successively :

1° the beginning of each piece, written in quite elaborate counterpoint, is based upon the reproduction of a melodic theme, presented in turn in all voices. Thus it will be necessary to determine by program

this melodic theme and its various apparitions.
This will be a difficult task.

2° The second part of the piece - as soon as the voice entries are over - generally follows an essential rule of contrapuntal practice : stepwise movement - or as close as possible - of each voice. It is this "shortest path" method which guides the performer in reconstructing the polyphony. This second algorithm will doubtlessly be easier to program, despite all the special cases (voice interpretations, octave leaps, voice crossings, etc...). But it will be interesting to search for an objective image - in modern notation - of the tablature.

This is our next research project for this year.

Hélène CHARNASSE.
Maître de Recherche
C.N.R.S. (France)

SPECTRA AS CHORDS

JAMES DASHOW

THE PADOVA COMPUTER MUSIC GROUP

In this article, a general principle is applied to a variety of spectra generating situations and thereby provides a means of deriving classes or families of chordal structures. Most of the situations involve simple multiplication, but the general principle is applicable to many other situations.

Multiplication of two signals is a powerful and efficient method for generating a variety of musically useful complex spectra which may be thought of as chords in the traditional sense especially if the various frequency components, harmonically and non-harmonically related, are all clearly audible as individual tones and do not serve only as acoustic support for some "fundamental" or dominating frequency in the spectrum. It is also true that computer synthesis permits specifying an infinite number of frequency pairs that may be multiplied together, so some means of establishing predictable classes or types of these chords is clearly useful for compositional purposes. After thorough acquaintance with the qualities, implications and demands of such source materials, the composer is better able to impose or derive meaningful musical relationships rather than generating arbitrary spectra for merely orchestrational effects.

The general principle is simply that the composer actively determines the content and construction of the chord-spectra by specifying two or more frequency components (pitches) along with the appropriate supplementary information, all of which will determine the chord type and its overall partial content, and the computer is left to calculate the two or more frequencies necessary to generate the spectrum containing the desired pitches within the desired

context, or chord. For the methods discussed here, each composer-defined diad or triad may be generated by anywhere from 6 to 48 different ways, which suggests that a separate subroutine or a procedure embedded within the actual instrument program be written that contains the equations for calculating all the possibilities derivable from a given technique.

The following example illustrates the procedure.

Let us suppose we have a multiplication of two signals where one is simply $\cos A$ and the other is the sum of $\cos B + \cos 3B$ (A and B are expressed as frequencies in Hz representing the instantaneous phase angle ωt) as in Fig. 1.

$$\cos A * (\cos B + \cos 3B) = \cos A \cos B + \cos A \cos 3B \\ = \cos(A \pm B) + \cos(A \pm 3B)$$

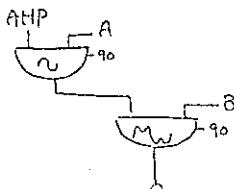


Fig. 1

We generate four frequency components, $A + B$, $A - B$, $A + 3B$, $A - 3B$. If we wish to generate among these components two specific pitches, UP and LP, we have the following options:

If UP is generated as $A + B$, LP can be $A - B$, or

$$UP = A + B \quad (1a)$$

$$LP = A - B \quad (1b)$$

Adding the simultaneous equations yields

$$UP + LP = 2A \\ A = .5 * (UP + LP) \quad (2)$$

and substituting (2) in either (1a) or (1b) produces

$$B = .5 * (UP - LP) \quad (3)$$

But LP can also be generated as $A + 3B$, so

$$UP = A + B \\ LP = A + 3B \\ LP - UP = 2B \\ B = .5 * (LP - UP) \quad (4)$$

$$A = .5 * (3UP - LP) \quad (5)$$

Finally, LP can be generated as $A = 3B$, and

$$UP = A + B, LP = A - 3B$$

$$UP - LP = 4B$$

$$B = (UP - LP)/4$$

$$A = (3UP + LP)/4 \quad (6)$$

$$A = (3UP + LP)/4 \quad (7)$$

If UP is generated as $A \sim B$, LP may be $A + 3B$ or $A - 3B$ which yields

$$B = (LP - UP)/4, A = (3UP + LP)/4$$

and

$$B = .5^* (UP - LP), A = .5^* (3UP - LP)$$

which are acoustically equivalent to (6), (7) and (4), (5) respectively. Nothing new has been added.

If UP is generated as $A + 3B$, LP as $A-3B$ is the only different option remaining and

$$B = (UP - LP)/6 \quad (8)$$

$$A = .5^* (UP + LP) \quad (9)$$

If in each case we generate either UP or LP as a reflected, or negative, frequency, we can transform (4) through (9) as follows (for negative LP):

$$B = .5^* (LP + UP) \quad (10)$$

$$A = .5^* (3UP + LP) \quad (11)$$

$$B = (UP + LP)/4 \quad (12)$$

$$A = (3UP - LP)/4 \quad (13)$$

$$B = (UP + LP)/6 \quad (14)$$

$$A = .5^* (UP - LP) \quad (15)$$

(With $- LP$ or $- UP$ (2) becomes (3), and vice versa)

The equations (2) through (15) represent, then, the frequency values for A and B that the signals $\cos A$ and $\cos B + \cos 3B$ may have which, upon multiplying them together, will yield chord spectra with constant pitches UP and LP. This group of chord spectra may be considered the set of possible harmonizations of the pitches UP and LP for the two given audio signals. MUSIC4BF and MUSIC360 function cards would simply call for the first partial in the A function and the first and third partial in the B function:

F 1 0 9 1 1 90

F 2 0 9 1 1 90 3 1 90

Not all of the spectra will be useful. For example, if $UP - LP$ is small, say 90 Hz, then $(UP - LP)/6$ yields 15 Hz for the B frequency

in (8) which does not produce a clear chordal sound at all. It is the composer's task to hear all the possibilities of a given specific diad for a given pair of signals and decide how they might best be used.

The general version of the above example is given by

$$(\cos xA + \cos mA) * (\cos yB + \cos nB) \quad (16)$$

which yield the frequencies

$$\begin{aligned} & xA \pm yB, \quad xA \pm nB \\ & mA \pm yB, \quad mA \pm nB \end{aligned} \quad \} \quad (17)$$

or 8 frequencies per chord spectrum. By the identical procedure 31 different spectra may be generated by the same diad, 16 with both UP and LP positive and 15 with one of the two negative. None of the coefficients x, m, y, n , may be 0 (if one coefficient is 0, then only 7 spectra may be generated as in the above example), and if one A coefficient equals one B coefficient, the other A coefficient may not equal a B coefficient. The 32 A and B pairs are given in Table 1 below.

2. A second method, which has been described in detail elsewhere (1) makes use of the relationship

$$\cos A \cos B \cos C = \cos(A+B-C) + \cos(A+B+C) + \cos(A+C-B) + \cos(B+C-A) \quad (18)$$

as applied to an amplitude modulation situation, as shown in Fig. 2

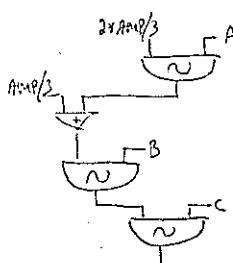


Fig. 2

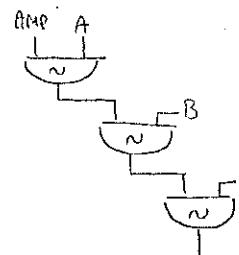


Fig. 3

The general principle and procedure yields 48 spectra of varying degrees of relatedness, all generated by the same three pitches and derived set of equations. The reader is referred to (1) for the complete set of equations and a sample MUSIC360 instrument program. The appropriate equations are listed in Table 2.

A simple version using only equation (18) as in Fig. 3 could be used with similar results, or expanded to

$$(\cos xA + \cos nA) \cos B \cos C$$

etc.

3. In applying the general principle to frequency modulation, the composer specifies 2 pitches, or the generating diad, and supplementary information fixing each pitch's position in the complete spectrum. The reader is referred again to (1) for a more detailed exposition of this method. The advantage here is that for each generating diad, one equation serves to derive all possibilities which will vary according to the specific interval, its transposition, placement in the spectrum and whether one of the pitches is reflected.

If the two specified pitches are HZU and HZL, and their corresponding sideband positions are SBU and SBL, then the modulating frequency for an FM situation may be calculated by

$$MOD = (HZU - HZL) / (SBU - SBL)$$

and the carrier frequency will then be

$$CAR = HZU - (SBL * MOD)$$

SBU and SBL are, in effect, integer multiples of the modulating frequency and can be thought of as sideband indices. Either or both may be negative which indicates that the frequency at -SBL, for example, is the different tone $CAR - (SBL * MOD)$, while +SBL indicates the sum tone $CAR + (SBL * MOD)$. One of the specified pitches may be negative (reflected) and this significantly increases the

richness and variety available through the FM method. The same two pitches, then, may be made to generate a large number of accompanying chord spectra depending on their sideband indices. The same components will be generated for a constant factor SBU-SBL, regardless of the individual values for SBU and SBL, but the amplitude relationships and their "evolution" with a dynamically varying modulation index will be different in each case.

4. The most complicated method presented here is a variant of the first method, employing an amplitude modulation model with two different signal generators both containing stored functions that are the sum of two cosines whose exact partial relationships and frequencies are derived from a generating triad or diad and certain specific conditions. The coefficients x, m, y, n, of the general form (16) in method 1 are permitted to be non-integer, and then adjusted to integer values that preserve their ratios. The modulator and carrier frequencies are then recalculated accordingly. A rather involved Pass 1 subroutine (MUSIC4BF, MUSIC380) carries out the necessary calculations, generates the appropriate Function cards and no performance time is lost.

Three types have been developed, each with a different set of conditions. The general principle is applied in the following manner:

If two signals, $\cos xA + \cos mA$ and $\cos yB + \cos nB$, are carrier and modulator respectively in an AM relationship, the resulting spectrum will have 9 components:

$$\begin{aligned} & \cos xA + \cos mA \\ & \cos xA \pm \cos yB \\ & \cos xA \pm \cos nB \\ & \cos mA \pm \cos yB \\ & \cos mA \pm \cos nB \end{aligned}$$

The composer specifies one pitch on one component, say $\cos xA + \cos mA$, the carrier, a second pitch as any other component, and a

third pitch which will be used to determine the values of the x, m, y, n coefficients and, subsequently, the actual carrier and modulator frequencies which will generate the correct chord spectrum.

Functions generated by the subroutine will look like:

F10	0	9	13	1	0	34	1	0
F11	0	9	47	1	0	73	1	0

and the necessary frequency values to drive these functions will be usually very low, say 11.372 for F10, and 3.706 for F11, etc.

As in the other methods, one of the pitches may be negative (reflected), but in order to prevent possible phase cancellation between two or more simultaneously sounding chord spectra, the phase of the partial in the stored audio function is adjusted to permit the specified pitches to be always positive. When this occurs, the rest of the spectrum is reversed in sign, and this often adds musically valuable tone-colors to the generated chords or combinations of chords. Table 3 below briefly summarizes the derivation of the 3 Types in a particular version with y=1, n=0.

CONCLUSION -

The general principle is simple to apply to almost any conceivable spectrum generating situation. A measure of meaningful compositional control may be exercised over the vast resources that certain kinds of computer techniques offer. The complex spectra are now being thought of as chords and may be used for themselves and not merely as orchestrational devices. This should prove a stimulus to the composition of new and fascinating musical works.

- References -

1. Dashow, J., Three methods for the digital synthesis of chordal structures with non-harmonic partials, Interface, vol. 7 (1978), pp. 69-94, Amsterdam, Swets & Zeitlinger B.V.
2. Abramowitz Milton, Stegun Irene, Handbook of Mathematical Functions, Dover Pub. Inc., New York, 1965.

11TH COMPLEX CARRIER p.2

TYPE 2: 12 SPECTRA - VARIABLE MOD

IF UP = CAR1

LP = CAR2

PCH3 CAN BE $CAR1 \pm MOD$

$CAR2 \pm MOD$

(4 POSSIBILITIES)

NO REFLECTED LP OPTION - YIELDS SAME
COMPONENTS WITH PHASE SHIFTED 180°

IF UP = CAR1

LP = $CAR2 - MOD$

PCH3 CAN BE $CAR1 \pm MOD$, CAR2,
OR $CAR2 + MOD$

(4 POSSIBILITIES WITH +LP)
(4 POSSIBILITIES WITH -LP.)

ALTERNATIVE NOTATION - $\begin{cases} UP = Hz \text{ WRITTEN IN } P6 \\ LP = " " " P7 \\ PCH3 = " " " P8 \end{cases} \quad (1)$

$$\begin{aligned} \text{TYPE 1: } & \begin{cases} CAR1 = .5 \times (UP+LP) \\ MOD = .5 \times (UP-LP) \\ CAR2 = PCH3 \end{cases} \\ & \text{THEN } LP = -LP \end{aligned}$$

$UP = Hz \text{ WRITTEN IN } P6$?
 $LP = " " " P7$?
 $PCH3 = " " " P8$?

$UP = Hz \text{ WRITTEN IN } P8$?
 $LP = Hz \text{ " " " P7}$?
 $PCH3 = " " " P6$?

$$\begin{aligned} \text{TYPE 2: } & \begin{cases} MOD = UP - LP \\ CAR1 = LP \\ CAR2 = PCH3 + MOD \end{cases} \\ & \begin{cases} MOD = UP - LP \\ CAR1 = UP \\ CAR2 = PCH3 - MOD \end{cases} \\ & \text{THEN } LP = -LP \end{aligned}$$

VALUES FROM SETS (1) (2) AND (3) ARE SUBSTITUTED INTO
TYPE 1 & TYPE 2 EQUATIONS.

- AM WITH COMPLEX CARRIER -

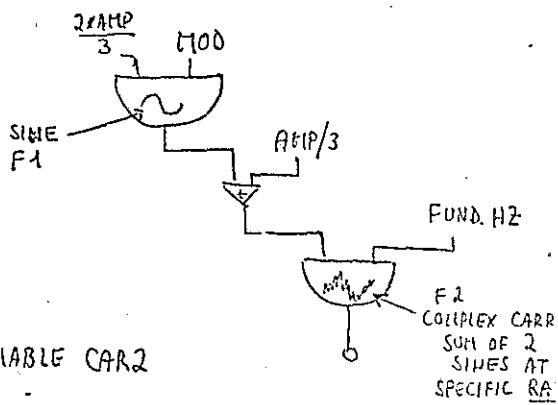
3 SPECIFIED PITCHES (GENERATING TRIAD):

UP, LP, PCH3

SPECTRUM COMPONENTS:

CAR1, CAR1 ± MOD

CAR2, CAR2 ± MOD



TYPE 1: 6 SPECTRA - VARIABLE CAR2

LET UP = CAR1 + MOD

LP = CAR1 - MOD

CAR1 = .5*(UP + LP)

MOD = .5*(UP - LP)

REFLECTED LP

CAR1 = .5*(UP - LP)

MOD = .5*(UP + LP)

PCH3 CAN BE CAR2, CAR2 + MOD, OR CAR2 - MOD

PN RATIO = CAR2 / CAR1

IF PN_{CAR1} = 1, FUND. H2 = CAR1,

PN_{CAR2} = RATIO * PN_{CAR1}

IF RATIO IS NOT INTEGER, PN_{CAR2} IS NOT "HARMONIC" TO SQHE
FUND. H2 = CAR1 / PN_{CAR1}MULTIPLY PN_{CAR1} UNTIL PN_{CAR2} * RATIO = INTEGER = PN_{CAR2}

FUND. H2 = CAR1 / (NEW) PN_{CAR1}

UP = 650; LP = 350; PCH3 = 900

CAR1 = .5*(650 + 350) = 500

MOD = .5*(650 - 350) = 150

LET CAR2 = PCH3 = 900

RATIO = 900 / 500 = 1.8

IF PN_{CAR1} = 1, PN_{CAR2} = 1.8

IF PN_{CAR1} = 5, PN_{CAR2} = 9

FUND. H2 = CAR1 / PN_{CAR1} = 500 / 5 = 100

CARRIER FUNCTION:

F2 0 9 8 1 0 9 1 0

SPECTRUM: 500, 650, 350

900, 1050, 750

REFLECTED LP: 150, 650, -350
(-350) 900, 1400, 400

- 81 -

AHFM EQUATIONS

GENERATING TRIOD UP, LP, PCH3

CLASS 1: FREQUENCY PAIR AHURML, AHURMU

$$RMC = .5 \times (UP + LP)$$

PCH3

$$AHURMU: CAM = .5 \times (PCH3 - LP)$$

$$AM\phi_0 = .5 \times (UP - PCH3)$$

$$AHURML: CAM = .5 \times (UP - PCH3)$$

$$AM\phi_0 = .5 \times (PCH3 - LP)$$

$$CAHURMU: CAM = PCH3 - .5 \times (UP + LP)$$

$$AM\phi_0 = UP - PCH3$$

$$CAHURML: CAM = .5 \times (UP + LP) - PCH3$$

$$AM\phi_0 = PCH3 - LP$$

CLASS 2: FREQUENCY PAIR CAHURMU, CAMRM2

$$RMC = .5 \times (UP + LP)$$

$$CAM = .5 \times (UP - LP)$$

PCH3

$$\left. \begin{array}{l} AM\phi_0 = PCH3 - UP \\ AM\phi_0 = LP - PCH3 \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} AM\phi_0 = UP - PCH3 \\ AM\phi_0 = PCH3 - LP \end{array} \right\}$$

CLASS 1: $UP = Hz 1$ }
 $LP = Hz 2$ } 8 SPECTRA $UP = Hz 1$ }
 $PCH3 = \pm Hz 3$ } }
 $LP = -Hz 2$ } 8 SPECTRA
 $PCH3 = \pm Hz 3$ }

CLASS 2: $UP = Hz 1$ } 4 SPECTRA $UP = Hz 1$ } 4 SPECTRA $UP = Hz 3$?
 $LP = Hz 2$ }
 $PCH3 = \pm Hz 3$ }
 $LP = Hz 3$ } 4 SPECTRA
 $PCH3 = \pm Hz 2$ }

RM COMPLEX - p. 2

— TABLE 1 —

A = CARRIER FREQUENCY; B = MODULATOR FREQUENCY

$$1. UP = \gamma A + y B$$

$$LP = \gamma A - y B$$

$$B = (UP - LP) / 2y$$

$$A = (UP - yB) / \gamma$$

$$2. UP = \gamma A + y B$$

$$LP = \gamma A + m B$$

$$B = (UP - LP) / (y - m)$$

$$A = (UP - yB) / \gamma$$

$$3. UP = \gamma A + y B$$

$$LP = \gamma A - m B$$

$$B = (UP - LP) / (y + m)$$

$$A = (UP - yB) / \gamma$$

$$4. UP = \gamma A + y B$$

$$LP = m A + y B$$

$$A = (UP - LP) / (\gamma - m)$$

$$B = (UP - \gamma A) / y$$

$$5. UP = \gamma A + y B$$

$$LP = m A - y B$$

$$A = (UP + LP) / (\gamma + m)$$

$$B = (UP - \gamma A) / y$$

$$6. UP = \gamma A + y B$$

$$LP = m A + m B$$

$$A = (m UP - y LP) / (\gamma m - y m)$$

$$B = (UP - \gamma A) / y$$

$$7. UP = \gamma A + y B$$

$$LP = m A - m B$$

$$A = (m UP + y LP) / (\gamma m + y m)$$

$$B = (UP - \gamma A) / y$$

$$8. UP = \gamma A + m B$$

$$LP = \gamma A - m B$$

$$A = (UP + LP) / 2\gamma$$

$$B = (UP - \gamma A) / m$$

$$9. UP = \gamma A + m B$$

$$LP = m A + y B$$

$$A = (y UP - m LP) / (\gamma y - m)$$

$$B = (UP - \gamma A) / m$$

$$10. UP = \gamma A + m B$$

$$LP = m A - y B$$

$$A = (y UP + m LP) / (\gamma y + m m)$$

$$B = (UP - \gamma A) / m$$

$$11. UP = \gamma A + m B$$

$$LP = m A + m B$$

$$A = (UP - LP) / (\gamma - m)$$

$$B = (UP - \gamma A) / m$$

$$12. UP = \gamma A + m B$$

$$LP = m A - m B$$

$$A = (UP + LP) / (\gamma + m)$$

$$B = (UP - \gamma A) / m$$

$$13. UP = m A + y B$$

$$LP = m A - y B$$

$$B = (UP - LP) / 2y$$

$$A = (UP - yB) / m$$

$$14. UP = m A + y B$$

$$LP = m A + m B$$

$$B = (UP - LP) / (y - m)$$

$$A = (UP - yB) / m$$

$$15. UP = m A + y B$$

$$LP = m A - m B$$

$$B = (UP - LP) / (y + m)$$

$$A = (UP - yB) / m$$

$$16. UP = m A + m B$$

$$LP = m A - m B$$

$$A = (UP + LP) / 2m$$

$$B = (UP - mA) / m$$

for REFLECTED LP, SUBSTITUTE -LP FOR LP
IN ALL A & B EQUATIONS.

+ WITH COMPLEX CARRIER - p. 3

TYPE 3:

LET $XMD = UP - LP$, $N = \text{ANY NUMBER}$

AM SPECTRUM MAY BE EXPRESSED:

$$(LP + N \cdot XMD) \pm (N \cdot XMD)$$

$$(LP + (N+1) \cdot XMD) \pm (N \cdot XMD)$$

YIELDING!

$$M\phi_0 = N \cdot XMD$$

$$CAR1 = LP + M\phi_0$$

$$CAR2 = CAR1 + XMD$$

4 SPECTRA FOR EVERY VALUE OF N , ALL Hz VALUES CONSTANT.

ALTERNATIVELY:

$$CAR1 = N \cdot XMD$$

$$CAR2 = (N+1) \cdot XMD$$

$$M\phi_0 = (N+1) \cdot UP - N \cdot LP$$

4 SPECTRA FOR EVERY VALUE OF N , ALL Hz VALUES CONSTANT.

UN SISTEMA PER L'INTERPRETAZIONE ED ESECUZIONE DI TESTI MUSICALI
MEDIANTE ELABORATORE

Giovanni DE POLI - Ermanno DOARDI

Istituto di Elettrotecnica e di Elettronica - Computer Music Group
Università di Padova

Riassunto

All'Università di Padova sono stati sviluppati vari linguaggi per la rappresentazione dell'informazione musicale: EMUS, MUSICADORE. Esistono inoltre i linguaggi MUSIC5 e MUSIC360 per la produzione di suoni.

Questi linguaggi sono stati integrati e coordinati fra loro in modo da formare un unico sistema per l'esecuzione di testi musicali.

Il linguaggio MUSICADORE viene utilizzato per la codificazione di partiture in notazione convenzionale; il linguaggio MUSIC5 per le partiture di musica elettronica, il linguaggio DORE per l'interpretazione dei simboli e la creazione della struttura altezza-durata-ampiezza; il linguaggio EMUS per la manipolazione a livello strutturale e per l'orchestrazione e il controllo dei timbri.

Introduzione

Nella produzione di suoni vanno diffondendosi gli strumenti elettronici analogici o digitali. In questi ultimi anni è già stata superata la fase della sola ed unica sperimentazione a livello di laboratorio o di addetti ai lavori e si è sul punto di compiere il balzo qualitativo verso la fase di diffusione al pubblico e di commercializzazione.

Si pone quindi il problema di creare dei mezzi efficaci e nel contempo facili da usare anche da parte di persone non specializzate.

Gli strumenti elettrici possono venire impiegati in varie maniere. La più tradizionale è l'esecuzione dal vivo; essa non attua nessun cambiamento significativo nel concetto di esecuzione musicale, essendo nient'altro, da questo punto di vista, che una semplice sostituzione di strumento.

Un'altra maniera, molto diffusa nella musica elettronica o tape music, consiste nel registrare su nastro magnetico i vari suoni o sequenze di suono e poi manipolarli e combinarli per ottenere il risultato finale.

Il metodo che sarà descritto si propone, pur non escludendo il procedimento sopra citato, di permettere la manipolazione e combinazione dei suoni a livello di descrizione e non di realizzazione acustica. Si vogliono infatti evitare le lunghe e noiose operazioni di selezione del materiale sonoro e le manipolazioni necessarie per combinare convenientemente suoni prodotti in tempi diversi.

Risulta infatti, a nostro avviso, più semplice e più precisa la manipolazione delle caratteristiche dei suoni a livello di descrizione che a livello della realizzazione acustica.

L'uso del computer rende realizzabile questo modo di operare. Devono quindi essere studiati efficaci linguaggi per rappresentare i suoni e sviluppati programmi che rendano questo modo di operare effettivo.

Esistono vari livelli di rappresentazione della musica. In questa sede ci interessano solo quelli che possono essere fissati per scritto, almeno da un punto di vista concettuale. Ad ogni livello può corrispondere una forma di partitura.

Una prima forma di rappresentazione dell'idea musicale è quella che indica l'organizzazione complessiva dell'opera, le relazioni

fra le varie parti, i principi generali. Chiamiamo questo livello strutturale.

Questa forma può essere dettagliata mediante una descrizione dei singoli suoni, rappresentati mediante i simboli di un qualche sistema di notazione. Chiamiamo questo livello simbolico. Un esempio è la notazione convenzionale su pentagramma.

Una terza forma è la rappresentazione numerica delle caratteristiche acustiche dei suoni. Essa può essere fatta specificando il tipo e le caratteristiche dello strumento e tutti i parametri fisici per la produzione del suono. Chiamiamo questo livello operativo.

Un'ultima forma è la rappresentazione dell'andamento della pressione sonora nel tempo, quale può essere la registrazione su nastro magnetico o la sequenza dei campioni prodotti digitalmente. Chiamiamo questo livello acustico.

L'attività del musicista che dal nulla, attraverso il livello strutturale, arriva al livello simbolico è chiamata composizione; quella che porta dal livello simbolico al livello operativo ed acustico è chiamata interpretazione ad esecuzione.

Lo scopo del presente lavoro è lo sviluppo di un sistema che consenta l'interpretazione ed esecuzione di partiture al calcolatore agendo ai differenti livelli.

Descrizione del sistema

Il sistema in esame si avvale della contemporanea utilizzazione di una serie di linguaggi, preesistenti (MUSICA, EMUS, MUSIC5) o appositamente creati al momento della sua realizzazione (DORE), ognuno dei quali agisce su qualche particolare aspetto dell'elaborazione musicale o sonora. Sebbene alcuni di essi abbiano una loro validità anche se presi separatamente, poterli considerare in un unico blocco rende il sistema molto più versatile.

Come si può notare dalla figura 1 i linguaggi si possono di-

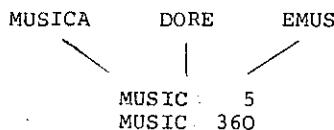


fig. 1

vedere in 2 gruppi: il primo, composto da MUSICA DORE ed EMUS, agisce a livello di introduzione delle informazioni; al secondo, composto da MUSIC5 o MUSIC 360, è invece affidato il compito della sintesi sonora in base ai modelli di generazione(strumenti).

MUSICA codifica tutti i simboli derivanti dalla comune notazione musicale su pentagramma. Nelle sue prime applicazioni, [De Poli 1978], interfacciato con MUSIC5 mostrò l'inadeguatezza di una traduzione letterale della partitura simbolica. Per ovviare a tale inconveniente è stato creato il linguaggio DORE il quale guida l'interpretazione dei simboli con riferimento alle caratteristiche del suono (altezza, durata, ampiezza). Il suo scopo è quello di eliminare la staticità dell'esecuzione automatica e di personalizzare la composizione musicale.

EMUS agisce invece a livello di struttura della partitura e di orchestrazione. Esso consente infatti la ripetizione di alcune parti del testo, la retrogradazione o l'inversione di intervalli, ecc. nonché il controllo dei timbri, inteso come definizione dei parametri funzionali dei modelli di generazione.

Ai linguaggi MUSIC5 o MUSIC 360 viene affidata sia la descrizione degli strumenti, che la sintesi ultima delle informazioni sonore ricevute dai precedenti linguaggi.

Per ogni linguaggio verranno ora esaminate in dettaglio le operazioni effettuabili su ogni parametro musicale utilizzato dal sistema.

Linguaggio Musica

Per la descrizione completa della sintassi del linguaggio MUSICA si rinvia alla bibliografia [Debiasi-De Poli 1974, 1976]. Vengono qui presentate le caratteristiche essenziali con riferimento al problema dell'esecuzione.

Altezza

Nella notazione musicale su pentagramma l'altezza è determinata dal nome della nota, dall'ottava di appartenenza e della presenza di eventuali accidenti. La loro trascrizione è mostrata in figura 2. Per ogni ottava esistono sette note, ciascuna delle quali può essere alterata con sei tipi di accidenti: in totale quindi 49 pos-

sibili altezze per ottava.

Durata

Nelle partiture su pentagramma la durata è indicata con opportuni simboli grafici che si riferiscono a multipli o sottomultipli dell'unità metrica (v.f. 3 per la trascrizione). Altri valori possono essere formati con i punti, mediante la legatura di valori o con i gruppetti ritmici irregolari.

Esistono dei segni speciali, come staccato, legato, lineetta, per specificare la fusione o la separazione dei suoni e quindi la durata reale del suono in rapporto alla durata metrica.

Metronomo

Il passaggio dalla durata metrica alla durata fisica del suono avviene attraverso le indicazioni metronometriche (fig. 4) o di tempo (Largo, Allegro, Presto, ecc...). Ci possono anche essere variazioni di metronomo come rallentando, accelerando o a tempo. La prima aumenta gradualmente la velocità fino alla prossima indicazione metrica. In maniera analoga agisce il rallentamento. L'indicazione di a tempo provoca invece il ritorno alla velocità originale.

Dinamica

Le indicazioni di dinamica sono mostrate in figura 5. Crescendo e diminuendo sono trascritti mettendo i segni << o >> all'inizio e z alla fine.

Accenti

Gli accenti sono indicati esplicitamente (figura 6) oppure possono essere calcolati dall'indicazione di tempo posta all'inizio della battuta.

Linguaggio DORE

Il linguaggio DORE / De Poli-Doardi / è composto di frasi che guidano all'interpretazione dei parametri musicali definendo le regole e le loro possibili variazioni. Le frasi del linguaggio DORE sono identificate dal carattere posto all'inizio e alla fine del blocco di istruzioni.

< Linguaggio DORE > := < Blocco >

Un blocco è costituito da più frasi, ognuna separata da un punto e virgola (;) :

< Blocco > := < Frase > | < Blocco > ; < Frase >

Le frasi possono essere dichiarazioni o assègnazioni:

< Frase > ::= < Dichiarazione > | < Assegnazione >

Le dichiarazioni si dividono in 2 tipi:

a) Di tipo: attivano una regola di interpretazione.

b) Esplicite: definiscono nuove regole interpretative.

< Dichiarazione > ::= < Dichiarazione di tipo > | < dischiarazione e-

Le prime sono composte da una parola simbolica seguita da un simbolo speciale e da una costante numerica o dall'identificatore di una regola. La parola simbolica rappresenta il nome della regola interpretativa di ogni parametro, oppure il parametro stesso; la sua funzione apparirà più chiara in seguito.

Dichiarazioni di tipo

< Dichiarazione di tipo > ::= < Parola simbolica >< Simbolo speciale >

< Identificatore > | < Parola simbolica >< Simbolo speciale >< Numero>

< Simbolo speciale > ::= : | =

Le dichiarazioni con il simbolo speciale uguale (=) sono usate per attivare nuove regole interpretative, la loro azione perdura sino alla fine della composizione o finchè non si incontra un'altra dichiarazione simile.

Il simbolo speciale due punti (:) viene adoperato per indicare che la dichiarazione agisce solo per quella specifica nota in cui è stato incontrato. Nelle parti convenzionali tali dichiarazioni, all'interno di un commento riferito ad una nota, agiscono solamente sulla parte e voce alla quale appartengono, a partire dalla nota stessa. Se il commento si trova all'inizio di battuta, oppure è relativo ad un accordo, esso agisce su tutte le voci di quella parte.

Ogni parametro musicale è interpretato secondo regole ben precise. Le dichiarazioni esplicite permettono di definire nuove regole interpretative secondo le esigenze del compositore. La loro sintassi è la seguente.

< Dichiarazioni esplicite > ::= DCL < Identificatore >< Identificatore di regola >

L'identificatore è una qualsiasi parola che verrà utilizzata

in seguito come nome della regola, mentre l'identificatore di regola indica la regola di interpretazione di un parametro musicale.

L'insieme dei valori utilizzati dalle regole interpretative vengono dati mediante frasi di assegnazione, nella seguente forma:

< Assegnazione > ::= < Identificatore > . < Nome del simbolo > ::= < valore numerico >

L'identificatore è lo stesso usato in una precedente istruzione dichiarativa. Esso è seguito da un punto e dal nome del simbolo al quale è assegnato il valore.

Alcuni parametri (accenti) necessitano, per essere specificati, di più valori numerici; ognuno di essi va separato da una virgola.

Per ogni parametro esiste una regola di interpretazione DEFAULT che viene usata dall'inizio fino a quando non viene esplicitamente richiesta una nuova regola.

Una volta che la regola sia stata definita, essa può essere utilizzata nelle dichiarazioni di tipo alla stessa maniera delle regole standard.

Le parole devono essere separate da almeno un separatore o da un simbolo speciale. Ci possono essere un numero arbitrario di separatori fra 2 parole, ma non ce ne possono essere all'interno. Un separatore è costituito da uno spazio o da un commento. Per commento si intende una qualsiasi sequenza di caratteri (eccetto ") racchiusi tra virgolette ("). Esso non ha alcun effetto sul linguaggio DORE e può essere impiegato per documentazione.

Per ciascun parametro musicale è stato definito un nome simbolico. Esso viene usato nelle dichiarazioni di tipo per attribuire un determinato valore a quel parametro sovrapponendosi all'azione di interpretazione dei simboli della partitura MUSICA.

Altezza

Il nome simbolico del parametro altezza è FREQ (es. 4'C /2 FREQ=256Q7). La regola di interpretazione del parametro corrisponde alla scelta della scala. La parola simbolica usata per indicare il cambiamento di scala è SCALE. Le scale di uso più comune sono prese nel linguaggio. Le altre possono essere definite esplicitamente. Ad esempio

.../2 DCL SCA SCALE; SCA.#C := 95C; SCA.&D := 102C; ... Q7

il valore assegnato a ciascun simbolo viene espresso o come rapporto tra la frequenza di quel grado e quella del primo grado della scala, oppure in cents o savart, sempre riferendosi al primo grado della scala (do). In questo ultimo caso il numero è seguito rispettivamente dalla lettera C (cent) o S (savart).

E' possibile definire un qualsiasi valore per il diapason. Esso è identificato con la parola LA (fissa la frequenza del la della quarta ottava) o con la parola DO (frequenza del do centrale).

E' possibile assegnare il rapporto di ottava con la parola OCTAVE. In questo caso vengono espansi o compressi opportunamente i valori degli intervalli delle scale.

Durata

Il nome simbolico del parametro è DUR, mentre l'identificatore di regola è MD. Il passaggio dalla durata metrica alla durata reale del suono dipende da quanto si vuole che i suoni siano staccati. Chiamiamo tempo di funzionamento (FT) il periodo di tempo dall'inizio della durata metrica (MAT) all'inizio dello smorzamento del suono (fig. 7). Il tempo di decadimento dipende solamente dallo strumento e dall'ambiente in cui ha luogo la rappresentazione.

Dobbiamo anche considerare il periodo tra l'inizio effettivo del suono e il MAT. Esso dipende sia dalle esigenze della interpretazione che dalle caratteristiche dell'attacco del suono: ad esempio un suono con l'attacco lento dovrà iniziare prima di uno veloce, altrimenti viene percepito fuori tempo.

Il calcolo della reale durata del suono fa riferimento al rapporto fra FT e la durata metrica.

E' possibile quindi specificare il rapporto tra FT e MD mediante la parola FT seguita dal valore del rapporto in percento. E' possibile inoltre specificare l'interpretazione, in termini di rapporto FT/MD, dei simboli staccato, staccatissimo, legatura, corona, lineetta, mediante le parole STACCATO, STACCATISSIMO, SLUR, FERMATA, LEGATO seguite dal valore percentuale.

Metronomo

Non esiste nome simbolico del parametro in quanto il valore può venire indicato esattamente nel linguaggio MUSICA. Per le indicazioni qualitative esiste una tabella di corrispondenza detta DEFAULT. Altre possono essere definite ed usate con la parola TEMPO.

Ampiezza

Il nome simbolico del parametro è AMP, mentre l'identificatore della risposta è DYNAM. La tavola di corrispondenza è data in unità di tipo logaritmico ed è possibile cambiare il riferimento del mezzoforte mediante la parola MF (es. MF=48).

Accenti

Gli accenti sono derivabili dall'indicazione del tempo o da indicazioni esplicite. Il nome simbolico del parametro è ACCENT e l'identificatore di regola METRE. Esiste una tavola di corrispondenza che associa ad ogni battito un codice opportuno per l'accento. Si os servir che nelle assegnazioni di valore il simbolo è composto da \$ seguito dal numeratore del tempo e devono essere specificati valori in numero pari al numeratore (es. TA.\$3:=1,3,2).

In figura 8 sono riassunti i nomi simbolici e gli identificatori delle regole di interpretazione per ciascun parametro musicale.

Linguaggio EMUS

EMUS è un linguaggio per l'aiuto alla composizione De Poli - Vidolin 1977. Facendo riferimento ai vari livelli sopra individuati, esso opera essenzialmente a livello strutturale.

Nel linguaggio possono essere distinte tre funzioni. La funzione di generazione produce materiale simbolico di base, usando processi di generazione aleatoria, parzialmente controllata con criteri numerici o grafici, oppure ricorrendo a processi di definizione diretta o grafica, o di selezione da un repertorio. Con questa funzione il compositore associa ad un nome simbolico una legge di definizione di simboli.

La funzione di elaborazione provvede alla organizzazione del materiale base in una struttura gerarchizzata, detta intermedia e alla sua disposizione nel tempo.

La struttura intermedia è divisibile in linee, ciascuna delle quali procede parallelamente alle altre rispetto al tempo. Esse corrispondono quindi alle parti, nella notazione convenzionale. Ciascuna linea è composta da una sequenza di celle (v. figura 9).

La cella definisce una sequenza di eventi sonori; essa è divisibile in righe, ciascuna delle quali contiene un nome simbolico relativo ad un parametro musicale. Questo nome viene quindi a definire la sequenza-andamento di un parametro musicale. L'organizzazione

finale si ottiene scandendo in modo opportuno le celle della struttura intermedia, disponendole nel tempo con diverse possibilità di sincronizzazione tra le varie celle delle varie linee.

La funzione di interpretazione consiste nell'esplicitazione dei simboli che definiscono gli eventi musicali secondo regole prefissate in generale o definibili di volta in volta dal musicista. Il significato di ogni simbolo può dipendere dal complesso dei simboli e quindi non è frutto di una semplice operazione di traduzione bensì dipende dal contesto.

La partitura operativa così ottenuta viene eseguita da un qualsiasi programma o dispositivo per la sintesi del suono.

Queste funzioni non sono sempre necessariamente susseguenti nel tempo, ma è possibile, una volta definita la struttura intermedia, definire o ridefinire del materiale base, variare la stessa, generare la partitura operativa e ascoltare il risultato acustico in qualsiasi successione sfruttando così convenientemente i risultati intermedi.

In una cella EMUS sono definiti vari tipi di righe (R, S, I, C, N) aventi compiti diversi (v. fig. 10). La riga R1 è riservata alla successione degli intervalli temporali fra gli istanti di inizio degli eventi musicali. La riga R2 contiene la definizione del timbro e cioè il tipo di strumento adottato e una serie di parametri fisici di riferimento. Con queste due righe si ha il minimo di informazione numerica per ottenere una successione di eventi sonori. Per la loro trasformazione si ricorre alle righe simboliche S, I, C o a quelle numeriche N. Le righe S e N contengono la definizione di sequenze di simboli o di numeri esprimenti i parametri musicali, le righe I sequenze di gruppi di simboli, mentre nelle righe C è contenuto un unico simbolo che fa riferimento a tutti gli eventi della sequenza.

Nell'utilizzare EMUS per l'esecuzione di partiture si sono adottate le seguenti convenzioni. Ad ogni voce di ciascuna parte è riservata una linea. Ad ogni battuta di una cella è fatta corrispondere una cella. Le righe sono state organizzate in questo modo:

R1 entry delay = durata metrica più le eventuali pause successive prima della nota seguente

R2 timbro

N1 durate fisiche

N2 operatori di trasposizione

N3 frequenza in Hz

N4 ampiezza

C1 riferimento dell'ampiezza

S1 selettore se la prima nota della battuta è in realtà una pausa.

Per ogni battuta di ogni voce viene creato il materiale simbolico base e poi inserito nella cella relativa. Si ha così nella struttura intermedia una riproduzione in forma simbolica della partitura da eseguire. Scandendo alla fine ordinatamente la struttura intermedia si ottiene la corrispondente partitura operativa.

Collegamento fra i vari linguaggi

Il linguaggio MUSICA consente la definizione di due tipi di parti: convenzionali, per trascrivere la notazione su pentagramma, quelle fittizie per altri tipi di informazioni. Quest'ultimo può venir utilmente impiegato per la trascrizione di parti non convenzionali, ad esempio di musica elettronica, mediante MUSIC5.

Nelle parti convenzionali è possibile inserire ovunque, informazioni supplementari la cui principale funzione è di agire come commento o estensione al testo. Queste informazioni vengono memorizzate dal programma MUSICA con riferimento alla nota cui si riferiscono. Nel sistema presentato, viene utilizzata questa opportunità per l'inserzione di frasi nel linguaggio DORE, EMUS, MUSIC5. Le frasi del linguaggio DORE guidano l'interpretazione dei simboli di MUSICA; le frasi EMUS e MUSIC5 passano ai rispettivi programmi.

Il sistema è dotato di due uscite. La prima verso EMUS avviene secondo le modalità descritte; la seconda, direttamente verso MUSIC consente una esecuzione senza ulteriori elaborazioni.

Per l'esecuzione attraverso EMUS occorre definire i timbri da associare a ciascuna nota. Questo può essere fatto con tutte le possibilità di EMUS, sia specificando esplicitamente sia aleatoriamente sia mediante selezioni grafiche.

In conclusione il sistema descritto consente di operare a differenti livelli, a seconda delle esigenze del musicista, sfruttando al meglio le caratteristiche dei vari linguaggi.

Esso può essere usato sia per ottenere un'esecuzione automatica di una partitura anche da parte di una persona non musicalmente

esperta, sia per sperimentare in maniera rigorosa varie scelzioni interpretative da parte di un esecutore esperto. In questo caso tutte le scelte interpretative vengono documentate e questo può risultare utile per una maggior consapevolezza e comprensione all'attività dell'interprete.

In definitiva si ritiene di aver predisposto un mezzo che rende agevole l'uso del computer e l'esplorazione sistematica delle nuove possibilità.

Riferimenti

Debiasi G.B., De Poli G. (1974): "Linguaggio di trasmissione di testi musicali per elaboratori elettronici". Suppl. n. 1.

Atti del IV Seminario di studi e ricerche sul linguaggio musicale, Vicenza.

Debiasi G.B., De Poli G. (1976): "MUSICA: a Musical Texts Coding Language for Computer". 1st Int. Conference on Computer Music, M.I.T. Cambridge, Mass.

De Poli G. (1978): "Musica, un programme de codage de la musique. Manuel d'utilisation". Rapport Scientifique IRCAM - Parigi.

De Poli G., Doardi E. (1979): "A language for automatic execution of musical scores by computers". 62nd A.E.S. Convention, preprint n. 1435, Bruxelles.

De Poli G., Vidolin A. (1977): "EMUS: un programma per l'elaborazione di strutture musicali". 1^o Colloquio Aspetti Teorici di Informatica Musicale, Milano.

NOTE ITALIANO DELLA NOTA d o r e m i f a s o l i a s i
 NOTE INGLESE DELLA NOTA c d e f g a b

NOTAZIONI CONVENZIONALI

TRASCRIZIONE DEL NOME C D E F G A B
DELLA NOTA

FREQUENZA DELLA NOTA (Hz) 16 32 64 128 256 512 1024 2048 4096

NOTAZIONE CONVENZIONALE

IDENTIFICATORE DI OTTARA 8-113
E TRASCRIZIONE DEL NOME ,,,c ,,,c ,,,c ,,,c ,,,c ,,,c ,,,c ,,,c
DELLA NOTA

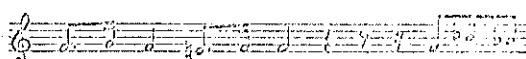
NOTAZIONE CONVENZIONALE	C D E F G A B C
IDENTIFICATORE DI OTTAVA	C D E F G A B C
E TRASCRIZIONE DEL NOME DELLA NOTA	C D E F G A B C

NOTAZIONE CONVENZIONALE	SEGNO TRASCRITTO
DIESIS	#
DOPPIO DIESIS	##
BEMOLLE	b
DOPPIO BEMOLLE	bb
REQUADRO	h
DOPPIO REQUADRO	hh

fig. 2

NOME DELLA FIGURA	NOTAZIONE CONVENZIONALE E VALORE	SEGNALO TRASCRITTO
BREVE	□ 2	0
SEMIBREVE	◆ 1	1
MINIMA	○ $\frac{1}{2}$	2
SEMIMINIMA	○ $\frac{1}{4}$	4
CROMA	○ $\frac{1}{8}$	8
SEMICROMA	○ $\frac{1}{16}$	7 (14 6+7)
BIS CROMA	○ $\frac{1}{32}$	9 (32+9)
SEMIBIS CROMA	○ $\frac{1}{64}$	6 (64+6)
FUSA	○ $\frac{1}{128}$	9

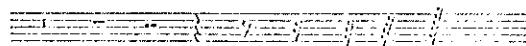
ESEMPIO DI NOTAZIONE
CONVENZIONALE



ESEMPIO DI
TRASCRIZIONE

8.1F 7G 4F 8.NE 7F 2F 8- 8- 7- 8F 8D 8A

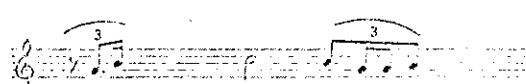
NOTAZIONE CONVENZIO-
NALE DELLE PAUSE



TRASCRIZIONE DIGITALE
PAUSE

0- 1- 2- 4- 6- 7- 3- 6- 9-

NOTAZIONE CONVENZIO-
NALE



TRASCRIZIONE

;3;8-8. 167B; 21C ;3;81B 7GG 8A;

d) METRONOMO

TRASCRIZIONE MM 2=120 MM 4.=100 MM 8=125

fig. 4

PIANO	p	p
PIANISSIMO	p p	p p
PIANISSIMO POSSIBILE	p p p	p p p
FORTE	f	s
FORTISSIMO	f f	s s
FORTISSIMO POSSIBILE	f f f	s s s
MEZZO PIANO	m p	m p
MEZZO FORTE	m f	m s

fig. 5

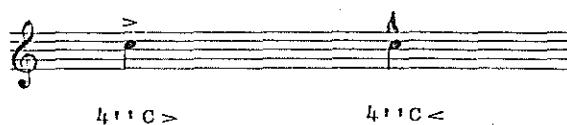


fig. 6

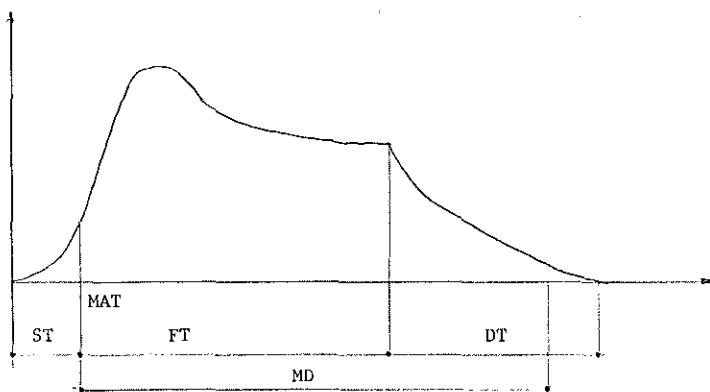


fig. 7

Parametro	Altezza	Durata	Motore	Ampiezza	Accentuazione
Nome simbolico Identificatore della regola di interpretazione	FREQ SCALE	DUR ID	----- TEMPO	AMP DYNAM	ACCENT METRUE

fig. 8

Línea 1	Cella 1	Cella 2	Cella 3			Cella n
Línea 2	Cella 1	Cella 2	Cella 3			Cella n
	:	:	:			:
	:	:	:			:
Línea n	Cella 1	Cella 2	Cella 3			Cella n

fig. 9

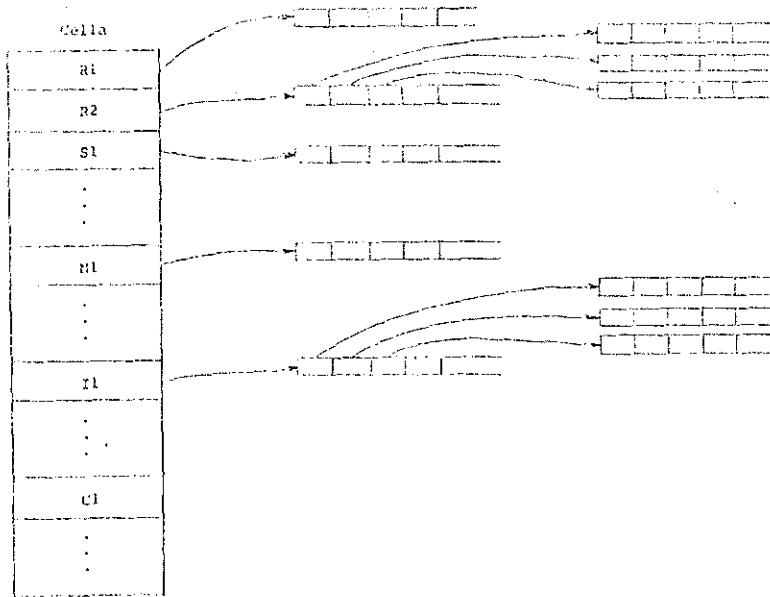


fig. 10

ANALISI DIGITALE DEI SUONI MULTIFONICI

G. TISATO

Centro di Calcolo - Università di Padova

Si esamina in questa comunicazione la problematica relativa all'analisi dei suoni multifonici e si presenta una procedura di analisi digitale di uso generale, applicata con successo per ottenere le note componenti una serie di accordi di fagotto suonati dal maestro S. Penazzi.

Si discutono i risultati ottenuti sia per quello che riguarda il campo puramente fisico, sia per il campo percettivo, e più precisamente riguardo alla ricostruzione fatta dall'orecchio della fondamentale di una serie di armoniche e al mascheramento di una componente spettrale rispetto ad un'altra.

Con il nome di "suoni multifonici" si indica il fenomeno per cui il suono prodotto da certi strumenti a fiato come il flauto, il fagotto, l'oboe e il clarinetto è percepito non come una unica nota ma come un insieme di due o più note di diversa altezza.

Come è noto, questi strumenti hanno subito nei secoli una trasformazione empirica che aveva fondamentalmente due scopi:

- il primo era di generare un suono percepibile come una nota unica di frequenza ben definita;
- il secondo di ottenere una uniformità di timbro nel passaggio da una nota all'altra lungo una scala di frequenza massima possibile (quella che è detta "tessitura" dello strumento).

In questa famiglia di strumenti, il suono è ottenuto dall'eccitazione di una colonna d'aria conica o cilindrica la cui lunghezza può essere variata aprendo o chiudendo i fori distribuiti lungo lo strumento stesso.

Per ogni configurazione di fori aperti o chiusi lo strumento è caratterizzato da una curva di risonanza che dà la risposta in frequenza della colonna d'aria in vibrazione.

I picchi della curva di risonanza determinano l'altezza della nota suonata e la sua composizione armonica, cioè il suo timbro. Insieme alla frequenza fondamentale si formano in effetti delle frequenze multiple di questa (perfettamente armoniche o con una piccola differenza) alcune esaltate, altre attenuate in corrispondenza ai picchi e alle depressioni della curva, come si può vedere in Fig.1.

Il cervello percepisce l'insieme di queste frequenze

come una unica nota con un colore (timbro) che permette di classificarla come nota di quel particolare strumento.

Quando si ha, come nel caso del fagotto qui studiato, una configurazione di fori molto complessa (23-24 fori) le combinazioni possibili sono numerosissime e non tutte, diciamo così, ortodosse.

Queste diteggiature, aggiunte a volte ad un aggiustamento particolare dell'imboccatura dello strumento, provano una distorsione della curva di risonanza (Fig. 2-3), tale che i picchi non cadono più a frequenza armonica.

Questo fa sì che le parziali generate siano molto numerose e che i gruppi delle parziali correlate armonicamente vengano dal cervello ricostruite come appartenenti a note diverse.

Questo tipo di suoni provocato spesso per errore, è stato studiato per scopi musicali da Bartolozzi /1/ che nel 1967 pubblicò un libro fondamentale in cui dava la tecnica per riprodurli facilmente.

In tempi più recenti questa tecnica fu impiegata da altri, fra cui John Coltrane e da Larry Livingston che diede pure un catalogo di 150 suoni multifonici e da Sergio Penazzi che al catalogo degli accordi di fagotto ha voluto accompagnare una vera e propria analisi fisica dei suoi. I risultati dell'analisi, dovevano rispondere alle seguenti esigenze:

- 1) individuare le parziali componenti il suono per dare all'analisi una base obiettiva, slegata dalle sensazioni soggettive;
- 2) raggruppare le parziali correlate armonicamente secondo la loro fondamentale;

- 3) ricostruire l'eventuale fondamentale mancante in una serie di parziali armoniche;
- 4) individuare in qualche modo le note che con più probabilità un ascoltatore riesce ad identificare.

Tutto questo doveva permettere la trascrizione su pentagramma delle note fondamentali componenti il suono e accompagnare l'indicazione della diteggiatura usata per ottenere quel particolare effetto.

Si è scelta come riferimento, una scala temperata ad ottavi di tono (si veda la divisione dell'ottava centrale in Fig. 4) che permette una notevole precisione nell'attribuzione dell'altezza della nota. Questa scala è eventualmente sostituibile nella procedura di analisi, da una qualsiasi altra desiderata.

Si noti che, di per sè, la discriminazione di due frequenze pure non arriva nelle condizioni migliori oltre il semi-tono(;/?, pag.30) mentre nel nostro caso

- 1) le note contemporanee possono essere più di due;
- 2) le note non sono naturalmente frequenze pure, ma formate da parziali a volte molto numerose;
- 3) non esiste un vero e proprio periodo a regime, un intervallo cioè in cui i parametri del suono si mantengono costanti.

L'unica condizione prevista dalla procedura è che i suoni da analizzare siano fra loro separati da una pausa.

Il segnale è digitalizzato ad una frequenza che può arrivare fino ai 30 Khz, con una estensione spettrale che copre quindi l'intero campo di udibilità. Nel caso in questione, la frequenza di campionamento usata è stata di

30 KHz, benché a mala pena nel fagotto le parziali più deboli arrivino oltre i 3000 KHz (Fig. 7). Una volta acquisito il segnale l'analisi procede nota per nota mediante la Fast Fourier Transform su un intervallo di circa ½ secondo.

Questa scelta è giustificata dal fatto che non si vuole in questo caso fare un'analisi spettrale nel tempo, non si vuole cioè vedere come evolve il contenuto armonico del suono, ma simulare il comportamento del cervello il quale integra i dati percettivi ricevuti, e solo allora permette un giudizio sulla composizione del suono udito.

Per evitare errori dovuti al troncamento del segnale alle estremità dell'intervallo scelto, i campioni vengono moltiplicati per la finestra di Hamming. Questo significa che il risultato terrà conto del contenuto armonico presente in tutto l'intervallo, ma darà più peso agli istanti centrali di questo intervallo.

Fra i picchi spettrali risultanti dall'analisi vengono considerati solo quelli emergenti dalla soglia dei 30 db, soglia fissata anche in funzione dell'analisi acustica diretta. L'interpolazione quadratica sull'ampiezza delle righe componenti questi picchi fornisce l'altezza e l'ampiezza esatta delle parziali formanti l'accordo.

Le parziali legate da una relazione armonica sono quindi raggruppate secondo la loro nota fondamentale, individuando anche le eventuali fondamentali che fisicamente non sono presenti ma che vengono tuttavia ricostruite effettivamente dall'orecchio.

Si dà infine per ogni nota fondamentale un punteggio complessivo relativo all'energia del gruppo di parziali

che compongono quella nota, in modo da individuare facilmente le note più distintamente udibili all'interno del l'accordo.

Il test sulla procedura di analisi è stato fatto con segnali digitali sintetizzati con il sistema interattivo "ICMS" /6/.

La Fig. 5 mostra il risultato dell'analisi per due note di altezza pari a 98 Hz e a 146 Hz, di cui quest'ultima è dovuta al meccanismo detto, di ricostruzione della fondamentale (in questo caso a partire dalla 3^a e 4^a armonica).

La stessa procedura è stata anche usata per analizzare le note non-multifoniche del fagotto, le note cioè generate in maniera ortodossa, Fig. 6,7,8.

Come ci si può aspettare, l'analisi dà per quest'ultime una nota unica con componenti in genere perfettamente armoniche; si veda in Fig. 6 come la decima componente differisca dalla teorica di 0.2 Hz su 586 Hz.

La nota è in genere formata dalla serie completa degli armonici (sia pari che dispari): si veda sempre in Fig. 6, come fino alla 17^a armonica, tutte le parziali siano superiori ai -30 db.

Le parziali formanti le note basse (Fig. 6) sono naturalmente più numerose che quelle componenti le note alte (Fig. 7,8) essendo la frequenza di taglio caratteristica dello strumento.

La relazione fra queste parziali cambia anche al cambiare della frequenza della nota fondamentale: la Fig. 6 mostra una nota bassa (La # 58.6 Hz) con un formante intorno ai 500 Hz e con una attenuazione notevole solo al di sopra dei 600 Hz, mentre in Fig. 7 si vede una

nota più alta (Re 293.4 Hz) con le parziali attenuate in modo molto più marcato.

I risultati relativi alle note singole acquistano un rilievo ancor maggiore quando vengano confrontati con i tabulati relativi ad alcuni dei 320 suoni multifonici analizzati (Fig. 9,10,11,12,13).

In maniera del tutto generale si possono fare le seguenti osservazioni:

- 1) esiste una relazione ben definita e precisa fra tutte le note fondamentali rilevate dall'analisi: se in effetti con A e B si indica l'altezza di due di queste note appositamente scelte, compaiono generalmente anche le note di altezza $A+B$, $B-A$, $2B-A$, $2B+A$, ecc.; questo induce a pensare che coesistano nei suoni multifonici 2 fondamentali modi di vibrazione della colonna d'aria i quali provocano per intermodulazione la generazione delle note sopra dette.
- 2) Le note fondamentali sono a volte molto numerose ma poiché sono quelle con peso (od energia) elevata, quelle cioè che hanno maggiore probabilità di essere identificate.
- 3) Certe note possono essere tralasciate quando cadano troppo vicine ad altre note (o parziali appartenenti ad altre note) di energia più elevata per l'effetto di mascheramento che si verifica fra 2 frequenze vicine.
- 4) Il riconoscimento delle note fatto dall'ascoltatore coincide con buona approssimazione con i risultati dell'analisi digitale, salvo i casi meno favorevoli in cui la presenza di battimenti o le variazioni troppo rapide della struttura impediscano all'orecchio una

identificazione sicura.

5) Si possono verificare (Fig. 12) casi in cui esista o venga ricostruita una unica nota molto bassa, in genere fuori dal normale rango delle frequenze generate come note singole, corrispondente ad un unico modo di vibrazione della colonna d'aria. Questo caso è interessante dal momento che gli ascoltatori, oltre alla frequenza della nota bassa, identificano sì, ma non concordemente, altre note corrispondenti alle componenti armoniche più forti.

In Fig. 9 si può vedere un esempio tipico del risultato fornito dall'analisi: le note fondamentali individuate sono un Fa+++ (Fa#) 181 Hz, un Re++ (Re crescente) di 300 Hz, un La#+++ (La# crescente) di 121 Hz ricostruito da una quarta e quinta armonica, e un Sol 783 Hz. La nota componente l'accordo che ha più energia è il La# crescente.

Le note stanno nella seguente relazione:

$$A = 181.4 \text{ Hz}$$

$$B \approx 483.1 \text{ Hz}$$

$$B-A \approx 300.5 \text{ Hz}$$

$$2B-A \approx 783.6 \text{ Hz}$$

La Fig. 10 mostra un altro esempio

con 4 note fondamentali legate da queste relazioni

$$A = 146.5 \text{ Hz}$$

$$B = 564.3 \text{ Hz}$$

$$B-A \approx 417.8 \text{ Hz}$$

$$B-2A \approx 271.3 \text{ Hz}$$

Si noti che per tutti gli accordi si possono ricavare

re diverse relazioni simili a quelle viste e relazioni che legano anche le eventuali fondamentali ricostruite. Nel caso di Fig. 9, se si considera anche la fondamentale ricostruita (La#++ di 120.8 Hz) le relazioni fra le note possono essere di questo tipo:

$$A = 120.8 \text{ Hz}$$

$$B = 300.5 \text{ Hz}$$

$$B-A \approx 181.4 \text{ Hz}$$

$$2B+A \approx 783.6 \text{ Hz}$$

In Fig. 11 si veda un caso in cui è possibile trascurare alcune delle note fondamentali, ad esempio il La# di 944.4 Hz, perchè evidentemente troppo vicino al La# di 924.6 Hz, 24^a armonica del Re+++ (Re#) 38.5 Hz, e il Re#++ (che è un Do 1281 Hz) perchè mascherato dal Re#++ di 1272 Hz, 33^a armonica del Re#38.5 Hz, e soprattutto perchè entrambe queste note hanno energia estremamente bassa rispetto all'energia delle altre note fondamentali.

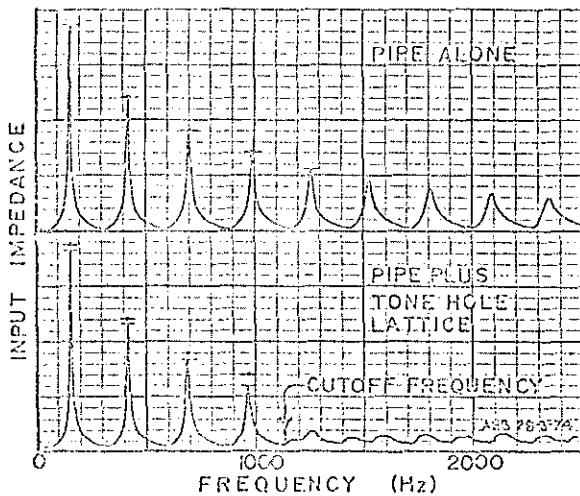


Fig. 1 Curve di risonanza di un clarinetto, in alto relativa solo al tubo, in basso con l'aggiunta di una sezione provvista di fori /5/.

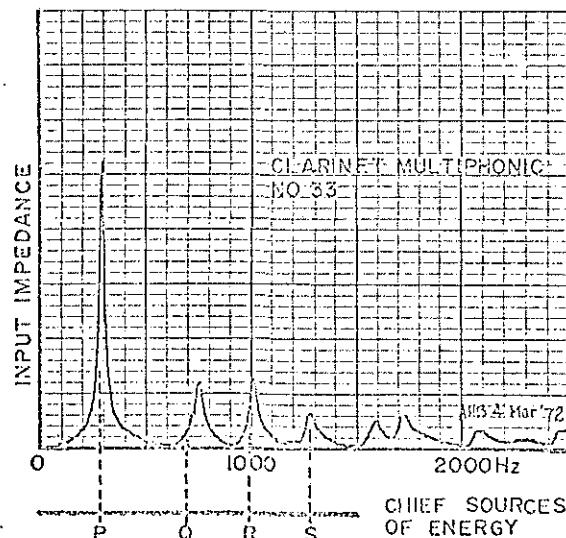
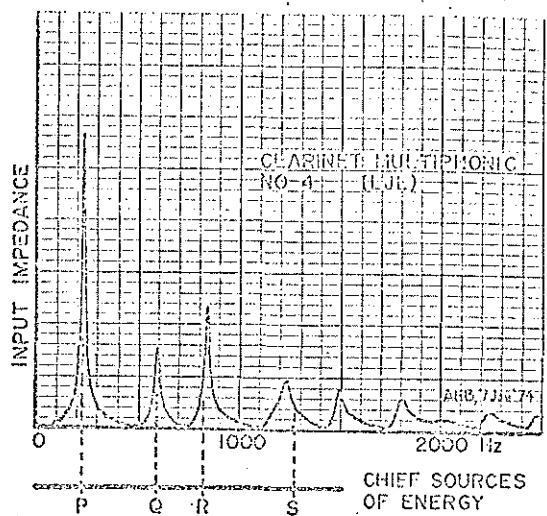


Fig. 2-3 Curve di risonanze per due suoni multifonici di clarinetto /5/.

ANALISI ARMONICA DI ACCORDI DI FACOTTO SUONATI DA S. PENAZZI

TABELLA NOTE & FREQUENZE PER OTTAVI DI TONO USATA PER L'ANALISI

OTTAVA NUMERO 4

NUMERO D'ORDINE	OTTAVA E NOTA	FREQUENZA TEORICA
193	4 DO	261.617
194	4 DO+	265.422
195	4 DO++	269.283
196	4 DO+++	273.199
197	4 DO#	277.173
198	4 DO#+	281.205
199	4 DO#++	285.295
200	4 DO#+++	289.444
201	4 RE	293.654
202	4 RE+	297.926
203	4 RE++	302.259
204	4 RE+++	306.655
205	4 RE#	311.115
206	4 RE#+	315.641
207	4 RE#++	320.232
208	4 RE#+++	324.889
209	4 MI	329.615
210	4 MI+	334.409
211	4 MI++	339.273
212	4 MI+++	344.208
213	4 FA	349.215
214	4 FA+	354.294
215	4 FA++	359.447
216	4 FA+++	364.676
217	4 FA#	369.980
218	4 FA#+	375.361
219	4 FA#++	380.821
220	4 FA#+++	386.360
221	4 SOL	391.979
222	4 SOL+	397.681
223	4 SOL++	403.465
224	4 SOL+++	409.334
225	4 SOL#	415.288
226	4 SOL#+	421.328
227	4 SOL#++	427.456
228	4 SOL#+++	433.674
229	4 LA	439.982
230	4 LA+	446.381
231	4 LA++	452.874
232	4 LA+++	459.461
233	4 LA#	466.144
234	4 LA#+	472.924
235	4 LA#++	479.803
236	4 LA#+++	486.701
237	4 SI	493.862
238	4 SI+	501.045
239	4 SI++	508.333
240	4 SI+++	515.727

Fig. 4 Ottava centrale della scala ad ottavi di tono usata nell'analisi.

151 01 SEGUINTE I SINTETIZATI: CCN "MIGAS"

ACCORDI PIANIFICATI SECTIONE ASSOCIAZIONE DELL'AGRICOLTURA

COMPONENTI GRAVIMENTALI	FREQUENZA IN Hz	AMPIETTA IN dB	NUM. DELLE ARACHNICHE	ISTOGRAMMA DELLE AMPIEZZE DELLA COMPONENTI	PESO =
EVENTUALI ARMONICHE					1599543
SOL	3 SOL	98.4	-6.5	1	
	4.2F	195.9	-13.0	2	
	4 SOL	294.4	-2.8	3	
	4.9C*9	391.9	-3.7	4	
	4 LASH++	490.3	-17.4	5	
	5 PIE	587.8	-33.4	6	
	5 KI***	686.3	-12.7	7	
	5 SOL	783.7	-13.6	8	
	5 tC	880.3	-7.6	9	
	5 LASH++	979.5	-29.8	10	
	6 LA	1759.7	-2.2	18	
	7 PI	2660.2	-14.6	27	
	7 FA4++	3019.8	-24.0	31	
RF	4 L2	146.5	*****	1	
	4.39.6	-0.0		2	
	587.0	-3.4		4	
	5 RE	880.3	-7.5	6	
	6 MI	1320.1	-16.0	9	
	6 LK	1759.7	-2.0	12	
	7 DI***	2199.3	-10.6	15	
	7 MI	2640.2	-14.6	18	
	7 FA4++	3079.8	-24.0	21	

PESCA 1447767

Fig. 5 Analisi di un suono multifonico sintetizzato digitalmente con ICHS.

ANALISI ARMONICA DI NOTE DI FAGOTTO SUONATE DA S. PENAZZI

NOTA SINGOLA N° 1
RAGGRUPPAMENTO SECONDO LE ARMONICHE DELLE NOTE FONDAMENTALI

COMPONENTI FONDAMENTALI	EVENTUALI ARMONICHE	FREQUENZA IN Hz	AMPIEZZA IN dB	NUM. DELLE ARMONICHE	ISTOGRAMMA DELLE AMPIEZZE DELLE COMPONENTI
1 LA#		58.6	-3.8	1	*****
2 LA#		117.2	-1.7	2	*****
3 FA		175.7	-5.2	3	*****
3 LA#		234.3	-4.4	4	*****
4 RE		292.9	-1.8	5	*****
4 FA		351.5	-2.0	6	*****
4 SOL+++		410.1	-0.4	7	*****
4 LA#		468.7	-0.9	8	*****
5 DO+		527.2	-0.0	9	*****
5 RE		585.8	-3.7	10	*****
5 RE#++		644.4	-9.7	11	*****
5 FA		702.9	-10.4	12	*****
5 FA#++		761.5	-12.6	13	*****
5 SOL+++		820.1	-14.8	14	*****
5 LA		878.6	-17.3	15	*****
5 LA#		937.2	-27.5	16	****
5 SI+		995.7	-27.0	17	****
6 RE+++		1224.9	-29.2	21	**
6 RFE++		1287.5	-28.1	22	***
6 MI+		1346.1	-25.3	23	*****
6 FA		1404.6	-28.3	24	***
6 FA#++		1521.8	-26.2	26	*****

PESO= 22595

Fig. 6 Nota di fagotto (La# 58.6 Hz) con le relative parziali armoniche come rivelato dal programma di analisi.

ANALISI ARMONICA DI NOTE DI FAGOTTO SUDATE DA S. PENALTI

NOTA STIGMATA N° 8
RAGGRUPPAMENTO SECONDO LE ARMONICHE DELLE NOTE FONDAMENTALI

COMPONENTI FONDAMENTALI	EVENTUALI ARMONICHE	FREQUENZA IN Hz	AMPIEZZA IN OB	NUM. DELLE ARMONICHE	ISTOGRAMMA DELLE AMPIEZZE CELLULE COMPONENTI
4 RE		293.4	-0.0	1	*****
	5 RE	587.7	-1.2	2	**
	5 LA	881.0	-13.2	3	***
	6 RE	1175.5	-12.3	4	****
	6 FA++	1460.7	-25.6	5	*****
	6 LA	1763.2	-26.3	6	*****
	6 SI++	2056.4	-28.9	7	*****
	7 FA++	2358.5	-29.8	10	*****
	7 LA	3525.2	-28.4	12	*****
				PESO=	32899

Fig. 7 Nota di fagotto (RE 293.4 Hz).

ATTALISI ARMONICA DI NOTE DI FAGOTTO SUGLIATE DA S. PENAZZI

NOTE SINGOLARE N° 10
RAGGRUPPAMENTO SECONDO LE ARMONICHE DELLE NOTE FONDAMENTALI

COMPONENTI FONDAMENTALI	EVENTUALI ARMONICHE	FREQUENZA IN HZ	AMPIEZZA IN DB	NUM. DELLE ARMONICHE	ISTOGRAMMA DELLE AMPIEZZE CELLE COMPONENTI
4 LA#	5 LA#	465.2	-0.0	1	*****
	6 FA	930.3	-15.1	2	*****
	6 LA#	1386.6	-20.0	3	*****
	7 FA	1822.1	-27.0	4	*****
		2722.5	-24.9	6	*****
				PESO=	57.16

Fig. 8 Note di fagotto (Lat# 465.2).

ANALISI ARMONICA DI ACCORDI DI FAGOTTO SUONATI DA S.PENAZZI

ACCORDO N° 284

RAGGRUPPAMENTO SECONDO LE ARMONICHE DELLE NOTE FONDAMENTALI

COMPONENTI FONDAMENTALI	EVENTUALI ARMONICHE	FREQUENZA IN HZ	AMPIEZZA IN DB	NUM. DELLE ARMONICHE	ISTOCRAMMA DELLE AMPIEZZE DELLE COMPONENTI	PESO=	
3 FA+++		181.4	-15.8	1	*****		
	4 FA+++	364.1	-27.6	2	****		
	6 FA+++	1448.3	-21.4	8	*****		
4 RE++		300.5	-10.7	1	*****	2160	
	5 RE++	602.2	-28.6	2	**		
	5 LA++	902.7	-28.9	3	**		
2 LA#++		120.8	****	1	I FONDAMENTALE STIMATA		
	4 LA#++	483.1	-0.0	4	*****		
	5 RE++	602.2	-28.6	5	**		
	5 LA#++	965.0	-29.4	8	**		
	6 FA+++	1448.3	-21.4	12	*****		
	6 SOL	1567.3	-23.3	13	*****		
5 SOL		783.6	-9.1	1	*****	59238	
	6 SOL	1567.3	-23.3	2	*****		
						PESO=	7482

Fig. 9 Suono multifonico di fagotto:
 nella prima colonna compaiono le note fondamentali
 rivelate dall'analisi - nella seconda colonna le
 parziali relative ad ogni nota.
 A destra compare il "peso" (cioè una quantità rela-
 tiva all'energia di quel gruppo di parziali) il quâ
 le dovrebbe permettere di giudicare la maggiore o
 minore importanza della nota fondamentale.

ANALISI ARMONICA DI ACCORDI DI FAGOTTO SUONATI DA S. PENAZZI

ACCORDO N° 285
RAGGRUPPAMENTO SECONDO LE ARMONICHE DELLE NOTE FONDAMENTALI

COMPONENTI FONDAMENTALI	EVENTUALI ARMONICHE	FRECUENZA IN Hz	AMPIEZZA IN dB	NUM. DELLE ARMONICHE	ISTOGRAMMA DELLE AMPIEZZE DELLE COMPONENTI	PESO=	
3 RE		146.5	-14.8	1	*****		
	4 RE	293.0	-9.7	2	*****		
	4 LA	430.4	-29.3	3	**		
	5 FA+++	732.4	-28.8	5	**		
1 FA++		45.2	****	1	I FONDAMENTALE STIMATA	4129	
	4 DO+++	271.3	-8.8	6	*****		
	4 RE#+	314.7	-26.8	7	*****		
	5 FA+++	732.4	-28.8	16	**		
	5 SOL#++	858.3	-17.2	19	*****		
	5 SI	983.2	-20.8	22	*****		
	5 SI+	1003.8	-21.8	22	*****		
	6 MI#+	1129.6	-27.1	25	*****		
	6 RE#+	1254.4	-25.8	28	*****		
	6 FA	1400.9	-23.6	31	*****		
	5 FA++++	1547.4	-18.3	34	*****		
	6 LA++	1819.9	-24.1	40	*****		
	6 LA+++	1840.3	-29.7	41	I		
2 SOL#		104.4	****	1	I FONDAMENTALE STIMATA	5466	
	4 SOL#	417.8	-12.5	4	*****		
	5 DO	521.8	-24.5	5	*****		
	5 FA+++	732.4	-28.8	7	**		
	5 SOL#+	836.7	-16.3	8	*****		
	6 RE#+	1254.4	-25.8	12	*****		
5 DO++		564.3	-0.0	1	*****	2571	
	6 DO#+	1129.6	-27.1	2	*****		
						PESO= 28695	

Fig. 10 Suono multifonico di fagotto:

ANALISI ARMONICA DI ACCORDI DI FAGOTTO SUONATI DA S. PENAZZI

ACCORDO N° 286
RAGGRUPPAMENTO SECONDO LE ARMONICHE DELLE NOTE FONDAMENTALI

COMPONENTI FONDAMENTALI	EVENTUALI ARMONICHE	FREQUENZA IN Hz	AMPIEZZA IN dB	NUM. DELLE ARMONICHE	ISTOGRAMMA DELLE AMPIZZZE DELLE COMPONENTI	PESO=	
1 RE+++		38.5	****	1	I FONDAMENTALE STIMATA		
	3 PE+++	153.9	-7.6	4	*****		
	3 FA#+++	193.6	-26.0	5	*****		
	4 RE+++	307.3	-26.2	8	*****		
	4 LA+++	461.8	-12.3	12	*****		
	4 SI+	501.6	-26.2	13	*****		
	5 DO++	540.3	-25.1	14	*****		
	5 MI	655.5	-14.1	17	*****		
	5 SOL++	809.3	-2.8	21	*****		
	5 LA#++	924.6	-27.3	24	*****		
	5 SI#++	963.2	-10.7	25	*****		
	5 SI+	1003.1	-26.4	26	*****		
	6 DO#++	1117.1	-25.1	29	*****		
	6 RE#++	1272.1	-15.4	33	*****		
	6 MI	1311.0	-21.9	34	*****		
	6 SOL++	1615.7	-24.3	42	*****		
	6 LA	1772.6	-15.7	46	*****		
	7 RE#+++	2581.9	-28.9	67	*****		
						PESO=	10496
3 FA		173.9	-10.9	1	*****	PESO=	968
4 MI		327.7	-11.1	1	*****	PESO=	115
5 MI		655.5	-14.1	2	*****		
5 SI		982.3	-26.3	3	*****		
6 MI		1311.0	-21.9	4	*****		
						PESO=	1344
4 LA#++	5 LA#++	481.6	-0.0	1	*****	PESO=	11584
		963.2	-10.7	2	*****		
5 RE#+	6 RE#++	635.5	-13.0	1	*****		
		1272.1	-15.4	2	*****		
5 SOL		789.5	-7.3	1	*****		
5 LA#+		944.4	-19.3	1	*****		
6 RE#++	7 RE#+++	1290.9	-17.2	1	*****		
		2581.9	-28.9	2	**		
						PESO=	841
						PESO=	1983
						PESO=	125
						PESO=	216

Fig. 11 Suono multifonico di fagotto.

ANALISI ARMONICA DI ACCORDI DI FAGOTTO SUGNATI DA S.PENAZZI

ACCORDO N° 287

RAGGRUPPAMENTO SECONDO LE ARMONICHE DELLE NOTE FONDAMENTALI

COMPONENTI FONDAMENTALI	EVENTUALI ARMONICHE	FREQUENZA IN Hz	AMPIEZZA IN DB	NUM. DELLE ARMONICHE	ISTOGRAMMA DELLE AMPIEZZE DELLE COMPONENTI
1 RE++		37.9	*****	1	1 FONDAMENTALE STIMATA
2 LA++		113.6	-9.2	3	*****
3 RE++		150.1	-23.7	4	*****
3 LA++		227.2	-9.5	6	*****
4 DO+		263.7	-0.0	7	*****
4 RE++		300.2	-15.0	8	*****
4 MI++		341.0	-15.7	9	*****
4 FA#		377.3	-3.1	10	*****
4 SOL#		417.8	-29.9	11	1
4 SI		491.0	-5.2	13	*****
5 DO+		527.4	-8.5	14	*****
5 RE++		604.7	-9.9	16	*****
5 PE#++		641.0	-5.0	17	*****
5 FA#		754.7	-20.1	20	*****
5 SOL+		791.1	-19.3	21	*****
5 SOL#		833.1	-17.5	22	*****
5 SOL#***		869.4	-5.5	23	*****
5 LA++		904.7	-11.4	24	*****
5 LA#		946.6	-17.7	25	*****
5 SI		983.1	-9.4	26	*****
5 SI++		1018.4	-9.2	27	*****
5 SI***		1025.4	-28.0	27	*****
6 DO+		1060.3	-23.6	28	*****
6 DO***		1096.7	-14.2	29	*****
6 DO#++		1133.1	-26.1	30	*****
6 RE		1168.4	-24.2	31	*****
6 RE++		1210.3	-22.7	32	*****
6 RE#		1246.8	-12.6	33	*****
6 RE#++		1282.1	-24.9	34	*****
6 MI		1323.9	-23.9	35	*****
6 MI++		1360.4	-14.3	36	*****
6 FA#		1474.0	-23.1	39	*****
6 SOL#		1624.1	-22.5	43	*****
6 SOL#***		1737.7	-22.6	46	*****
6 LA+		1774.2	-26.4	47	*****
6 LA#		1851.3	-19.0	49	*****

PESO= 38938

Fig. 12 Suono multifonico di fagotto.

ANALISI ARMONICA DI ACCORDI DI FAGOTTO SUCNATI DA S.PENAZZI

ACCORDO N° 298
RAGGRUPPAMENTO SECONDO LE ARMONICHE DELLE NOTE FONDAMENTALI

COMPONENTI FONDAMENTALI	EVENTUALI ARMONICHE	FREQUENZA IN Hz	AMPIEZZA IN dB	NUM. DELLE ARMONICHE	ISTOGRAMMA DELLE AMPIEZZE DELLE COMPONENTI	
3 SI***		258.3	-9.4	1	*****	
	4 SI***	517.9	-24.9	2	*****	
	5 FA#***	776.3	-20.1	3	*****	
4 LA		441.2	-0.0	1	*****	PESO= 2751
	5 LA	882.7	-15.7	2	*****	
	6 LA	1765.5	-22.7	4	*****	
5 RE#		624.4	-12.9	1	*****	PESO= 22089
5 FA		699.8	-6.7	1	*****	PESO= 1110
	6 FA	1400.6	-16.6	2	*****	
	7 OO	2100.3	-14.9	3	*****	
6 DO#**		1142.2	-5.4	1	*****	PESO= 5723
6 LA***		1842.0	-18.2	1	*****	PESO= 6134
						PESO= 328

Fig. 13 Suono multifonico di fagotto.

BIBLIOGRAFIA

- /1/ BARTOLOZZI - New sounds for wood-winds, Oxford, London 1967.
- /2/ J.G. ROEDERER - Introduction to the physics and psychophysics of music, Rizzoli International Publications, Inc. New York 1975.
- /3/ J. BACKUS - Multiphonic tones in the wood-wind instruments, JASA, Vol. 63, no 2, February 1978.
- /4/ J.A. MOORER - On the segmentation and analysis of continuous musical sound by digital computer, CCRMA, Artificial Intelligence Laboratory, Department of music, Standford, Report No STAN-M-3, May 1975.
- /5/ A.H. BENADE - Fundamentals of musical acoustics, Oxford Press., New York 1976.
- /6/ G. TISATO - An interactive software system for real-time sound synthesis, First I.C.M. Conference, Boston, 1976.

Tommaso Bolognesi

COMPOSIZIONE AUTOMATICA : DALLA MUSICA 1/f ALLA MUSICA AUTOSIMILE

Riassunto

E' stato recentemente messo in luce come lo spettro di potenza di alcune variabili temporali inerenti a brani musicali abbia andamento $1/f$ fino a frequenze (f) corrispondenti a periodi di alcuni minuti. Ciò suggerisce l'impiego di processi stocastici a spettro di potenza $1/f$ (rumore rosa) anzichè a spettro costante (rumore bianco) per la composizione automatica di sequenze musicali.

Viene discusso ed applicato un algoritmo proposto da R.F. Voss per la generazione di sequenze numeriche $1/f$ e vengono analizzate le proprietà formali della musica che esso produce; vengono proposte ed applicate una randomizzazione ed una generalizzazione dell'algoritmo che conservino la struttura gerarchica della musica prodotta, rendendola contemporaneamente più flessibile.

Adottando un differente processo stocastico, il volo di Lévy, ed introducendo un particolare spazio acustico multidimensionale dotato di metrica non pitagorica, si ottengono sequenze musicali che oltre a conservare le proprietà musicalmente significative garantite dai processi precedenti, prima fra tutte l'autosimilitudine, presentano una certa interdipendenza nelle fluttuazioni dei singoli parametri acustici; le caratteristiche del processo e dello spazio acustico nel quale esso ha luogo garantiscono l'autosimilitudine non solo al livello dei singoli parametri acustici, ma anche al livello più elevato degli eventi sonori intesi come unità complesse.

1. MUSICA 1/f

In un loro recente lavoro ⁽¹⁾, R.F.Voss e J.Clarke hanno rilevato in brani musicali di svariati stili la presenza di variabili temporali a spettro di potenza 1/f.

La prima parte di questo scritto descrive un algoritmo per la generazione di rumore 1/f proposto da Voss ⁽²⁾. Lo scopo è quello di mettere in luce tre proprietà della musica che esso genera: la distribuzione temporale dei salti, l'autosimilitudine, l'organizzazione gerarchica dei tempi di correlazione.

La considerazione di tali proprietà e della loro significatività in senso musicale giustifica l'adozione dell'algoritmo forse più ancora del fatto che esso produca spettri 1/f e che tali spettri siano effettivamente osservabili nella musica non artificiale.

1.1 Alcune osservazioni sull'algoritmo dei dadi di R.F.Voss

L'algoritmo è presto riassunto.

- Si prendono n dadi: d_0, d_1, \dots, d_{n-1} .
- Si listano tutti gli interi da 0 a $2^n - 1$, nella loro rappresentazione binaria, in una matrice M di 2^n righe ed n colonne.
 - Si associa un dado ad ogni colonna.
 - Si lanciano i dadi una prima volta e si sommano gli esiti.
 - Si scandisce la matrice dall'alto al basso e per ogni riga esaminata si lanciano soltanto quei dadi corrispondenti a colonne nelle quali è avvenuto un cambiamento di cifra binaria rispetto alla riga precedente.
 - Ad ogni riga si fa corrispondere la somma di tutti i dadi.

	d_2	d_1	d_0	somme :
0	0	0	0	12
	6	2	4	
1	0	0	1	10
	"	"	2	
2	0	1	0	14
	"	5	3	
3	0	1	1	15
	"	"	4	
4	1	0	0	7
	2	3	2	
5	1	0	1	8
	"	"	3	
6	1	1	0	9
	"	2	5	
7	1	1	1	5
	"	"	1	

Fig. 1 - Successione di lanci nell'algoritmo di Voss a tre dadi

La figura 1 (in cui $n = 3$) mostra la serie di cifre decimali (colonna di sinistra) che, codificate in binario, costituiscono la matrice M, alla quale è sovrapposta la matrice degli esiti dei lanci.

Il processo stocastico $s(t)$ generato dall'algoritmo è costituito dalla sequenza delle somme ottenute; chiamato $d_m(t)$ il processo che descrive la sequenza degli esiti del dado omonimo, si ha:

$$s(t) = \sum_{m=0}^{m-1} d_m(t) \quad (1)$$

Assegnando i valori ottenuti ad un parametro acustico, per esempio alla frequenza F (\circ), al ritmo di uno al secondo, si otterrà una melodia di 2^n note.

La natura della sequenza numerica $s(t)$, dunque della melodia, appare evidente in fig. 2, che è più o meno fig. 1 ruotata di 90° .

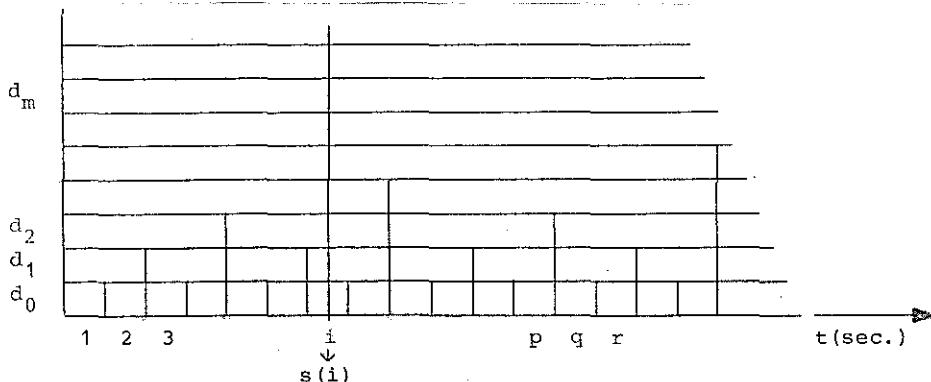


fig. 2 - Come vengono sommati gli esiti dei lanci dei dadi

Qui i dadi, numerati a partire da zero dal più al meno frequentemente rilanciato, sono associati alle fasce orizzontali. Ogni rettangolo conterrà l'esito del lancio o rilancio di un dado; il valore del processo all' i -esimo secondo, $s(i)$, viene ottenuto sommando i contenuti di tutti i rettangoli che si trovano al di sopra dell' i -esimo rettangolo della fascia più bassa, quest'ultimo compreso. La frequenza di rilancio dell' m -esimo dado è

$$f_m = 2^{-m} \text{ Hz}$$

(\circ) Per ottenere una gamma di semitonni ben temperati basterà porre

$$F(t) = K \cdot 2^{s(t)/12} \text{ Hz},$$

dove K determina la posizione dell'intervallo entro cui si muove la melodia.

in corrispondenza alle frequenze di commutazione delle cifre della numerazione binaria, considerate a partire dalla meno significativa. In altri termini un esito del dado d_1 contribuirà alla somma $s(i)$ per un periodo T_1 doppio del periodo T_0 relativo al dado d_0 , d_2 contribuirà per un periodo T_2 doppio di T_1 , e così via.

1.2 Distribuzione temporale dei salti, autosimilitudine, spettro di potenza e tempi di correlazione

Una prima particolarità delle sequenze generate dall'algoritmo dei dadi di Voss risiede nella natura delle transizioni $s(t) \rightarrow s(t+1)$ (^o).

Probabilmente, ad esempio, si avrà

$$|s(p) - s(q)| > |s(q) - s(r)| \quad (\text{vedi fig. 2})$$

perchè il primo salto è ottenuto rilanciando tre dadi, il secondo rilanciandone uno solo.

Le probabilità dei possibili esiti dei salti $s(t) \rightarrow s(t+1)$ in funzione del numero di dadi rilanciati sono calcolate in Appendice 1.

Inoltre il numero di rilanci, m , dipende da t . Dunque i salti nelle transizioni $s(t) \rightarrow s(t+1)$ dipendono da t (ciò che riflette la non stazionarietà di $s(t)$). L'effetto di questa distribuzione temporale dei salti sulla linea melodica appare evidente osservando il profilo superiore di fig. 3, che utilizza gli esiti dei lanci riportati in fig. 1.

Come si vede dalla figura, il processo favorisce una particolare alternanza di salti brevi, medi e lunghi. Associando poi, in modo naturale, ai salti brevi l'idea di prevedibilità, o di conferma di una previsione, e a quelli lunghi l'idea di sorpresa (^{oo}), si vede come queste linee melodiche presentino una discreta alternanza di conferme e sorprese, ciò che è stato più volte indicato (⁴) come condizione necessaria per il mantenimento dell'interesse nell'ascoltatore.

2) Una seconda proprietà della musica ottenibile dai dadi di Voss

(^o) Con la notazione $s(t)$ si intendono rappresentare (con Papoulis (⁵), pag. 280) quattro cose differenti, relative al processo introdotto:

- a) l'intero processo stocastico (t variabile)
- b) una singola successione temporale di valori della somma dei dadi (t variabile)
- c) la variabile aleatoria discreta somma dei dadi (all'istante t fisso)
- d) un preciso valore della somma (all'istante t fisso).

In questo caso e nel seguito il significato sarà chiaro dal contesto.

(^{oo}) Questo è solo un modo molto semplice, ma non è ovviamente l'unico, di valutare in senso psicoacustico gli intervalli di frequenza e le fluttuazioni dei parametri acustici in generale.

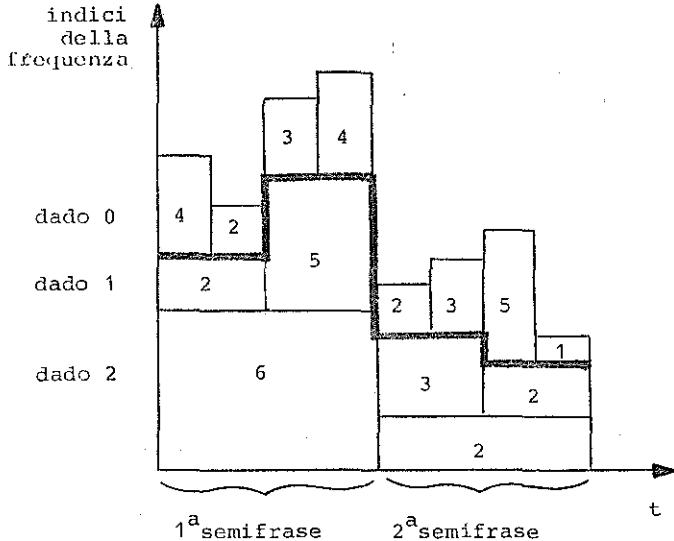


fig. 3 - La linea melodica ottenuta con i lanci dei dadi di fig.1

consiste nella possibilità, evidente in figura, di interpretare la linea melodica come giustapposizione di due frasi poste a diverse altezze, ciascuna delle quali è a sua volta divisa in due semifrasi, pure poste a diverse altezze, e così via (nidificazione), secondo una serie di livelli gerarchici, tanti quanti sono i dadi utilizzati. Inoltre, ogni frase è simile, in senso statistico, a ciascuna delle semifrasi di cui è composta, e poichè questo vale indipendentemente dal livello, ogni frase appartenente a un dato livello è statisticamente simile ad ogni frase su ogni altro livello; in particolare l'intera melodia è simile ad ogni sua parte. A tale proprietà si dà il nome di "autosimilitudine" (il concetto è trattato ampiamente in (5)).

In realtà l'autosimilitudine rigorosa è possibile soltanto con infiniti dadi, cioè livelli, mentre nel caso finito essa può venire approssimata. La prima semifrase di fig. 3, ad esempio, è statisticamente simile ad una versione approssimata dell'intera frase, quella che si ottiene trascurando i dettagli costruiti dal dado do (la linea più marcata). Ciò non toglie nulla al fatto che il concetto di autosimilitudine sembra ugualmente applicabile, anzi molto a datto, alla descrizione delle proprietà della struttura melodica ottenuta.

L'importanza in musica dell'autosimilitudine, o, più in generale, dell'organizzazione gerarchica delle strutture è forse ancora più evidente di quella della distribuzione temporale dei salti, già discussa, e non richiede qui eccessivo approfondimento. Basterà l'esempio contenuto in Appendice 2, dove viene mostrato come l'organiz-

zazione degli accenti in una sequenza ritmica elementare sia chiaramente riconducibile ad una struttura gerarchica ed autosimile.

La terza proprietà che viene presa in considerazione riguarda la natura dello spettro di potenza $P_s(f)$ del processo $s(t)$. La verifica, alle basse frequenze, di

$$P_s(f) \approx K/f$$

(K è una costante) può essere ottenuta in diversi modi, da quello teorico alla simulazione via elaboratore elettronico. L'Appendice 3 presenta una verifica "ibrida", che fa uso sia della teoria che del calcolo via elaboratore; qui nel seguito viene mostrato come lo spettro $1/f$ possa derivare da una distribuzione di tempi di correlazione del tipo di quella coinvolta nel processo dei dadi di Voss.

In un suo articolo del 1950⁽⁷⁾ il fisico A. Van Der Ziel mostrò come fosse possibile, sul piano puramente formale, ottenere un rumore a spettro di potenza $1/f$ su un ampio intervallo di frequenze, introducendo una opportuna distribuzione di tempi di correlazione.

Si consideri una tipica funzione di autocorrelazione, il decadimento esponenziale

$$R(\tau) = e^{-|\tau|/\tau_0}$$

parametrico in τ_0 (tempo di correlazione). Lo spettro corrispondente:

$$S(f) = \frac{2\tau_0}{1 + (2\pi\tau_0)^2 f^2}$$

non presenta andamento $1/f$ in nessuna zona (tende ad assumere andamento costante per $f \rightarrow 0$, e andamento $1/f^2$ per $f \rightarrow +\infty$).

Sostituendo all'unico valore τ_0 una distribuzione di tempi di correlazione a densità $g(\tau)$, tale che $dP = g(\tau)d\tau$ rappresenti la probabilità che il tempo di correlazione cada fra τ e $(\tau+d\tau)$, introducendo dunque una distribuzione di funzioni di correlazione, Van Der Ziel ricava uno spettro ad andamento $1/f$ entro un intervallo di frequenze che dipende da come è definita la $g(\tau)$.

Ponendo:

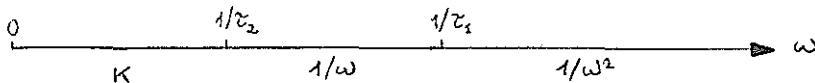
$$g(\tau) = \begin{cases} \frac{1/\tau}{\log(\tau_2/\tau_1)} & \text{per } \tau_1 < \tau \leq \tau_2 \\ 0 & \text{altrove} \end{cases} \quad (2)$$

$(\log(\tau_2/\tau_1))$ è il fattore di normalizzazione tale che $\int_0^\infty g(\tau)d\tau = 1$ egli ricava:

$$S(f) \propto (\arctg \omega \tau_2 - \arctg \omega \tau_1) / \omega \quad (\omega = 2\pi f)$$

che è indipendente dalla frequenza per $\omega \tau_i \ll 1$, varia come $1/\omega$ nel

l'intervallo $(1/\tau_2, 1/\tau_1)$ e come $1/\omega^2$ per $\omega\tau_i \gg 1$, come schematizzato qui sotto:



Vediamo ora come l'organizzazione dei tempi di correlazione nel l'algoritmo dei dadi di Voss sia il corrispondente (anche se discreto e deterministico) della $g(\tau)$ di Van Der Ziel.

Innanzitutto è naturale ammettere, per il processo, l'esistenza di una successione di tempi di correlazione coincidente (proporzionale) con la successione dei periodi di rilancio di ogni dado (vedi fig. 2), come è confermato dall'analisi delle $R(t)$ associate ai dadi (Appendice 3). Nel seguito dunque confonderemo i tempi di correlazione con i periodi di rilancio.

Supponiamo di numerare i dadi da 0 ad n e che la serie dei periodi di rilancio dei dadi sia

$$T_m = T \cdot 2^m \quad (m = 0, 1, \dots, n)$$

(Nell'esempio di fig. 2 si aveva $T = 1$)

Consideriamo la funzione G che conta il numero di tempi di correlazione (di periodi di rilancio) strettamente inferiori ad un tempo di correlazione dato:

$$G(T \cdot 2^K) = \begin{cases} \log_2 \left(\frac{T \cdot 2^K}{T} \right) = K & \text{se } K \leq n \\ n + 1 & \text{se } K > n \end{cases}$$

Ponendo $\tau_1 = T$ e $\tau_2 = T \cdot 2^n$, e immaginando di far variare il tempo τ con continuità fra questi due estremi, la G si riscrive

$$G(\tau) = \begin{cases} \log_2 \tau / \tau_1 & \text{per } \tau_1 \leq \tau \leq \tau_2 \\ \text{costante altrove} & \end{cases}$$

Attribuiamo ora a questa funzione il significato di una funzione di distribuzione della variabile τ . $G(\tau_1) = 0$, ma

$$G(\tau_2) = \log_2 \frac{\tau_2}{\tau_1}$$

dunque la funzione, normalizzata, diventa:

$$G(\tau) = \frac{\log_2 \tau/\tau_1}{\log_2 \tau_2/\tau_1} = \frac{\log_e \tau/\tau_1}{\log_e \tau_2/\tau_1}$$

La derivata di una funzione distribuzione è la corrispondente funzione densità di probabilità:

$$G'(\tau) = g(\tau) = \begin{cases} \frac{1/\tau}{\log_e \tau_2/\tau_1} & \text{per } \tau_1 \leq \tau \leq \tau_2 \\ 0 & \text{altrove} \end{cases}$$

Come si vede, essa coincide con la (2).

Ciò mette in luce la fondamentale connessione che esiste fra lo spettro $1/f$ di un processo e la presenza contemporanea in esso di più tempi di correlazione, siano essi distribuiti statisticamente nel continuo oppure organizzati deterministicoamente, nel discreto, secondo la successione

$$T_m = T \cdot 2^m$$

che corrisponde alla struttura gerarchica e nidificata di fig. 2.

L'importanza di una organizzazione gerarchica delle strutture è già stata messa in rilievo. Qui si può aggiungere che la presenza contemporanea in una sequenza musicale di più tempi di correlazione consente, sul piano percettivo, la "lettura" del brano su più livelli, e ciò aumenta in modo esponenziale il numero di relazioni interne, dunque di "significati", che è possibile reperire nella struttura stessa.

Si sono prese fin qui in esame alcune proprietà strutturali delle sequenze ottenibili con l'algoritmo dei dadi e si è sottolineata la loro importante funzione in senso musicale. Esse appaiono chiaramente interdipendenti, e sembra legittimo riassumerle tutte in una sola di esse: l'autosimilitudine. Imporre tale proprietà all'andamento di una linea melodica, infatti, significa ottenere una distribuzione temporale dei salti e una serie di tempi di correlazione dei tipi visti. Si è visto poi come esista uno stretto legame fra l'organizzazione dei tempi di correlazione in una struttura autonome ($T_m = T \cdot 2^m$) e lo spettro di potenza $1/f$.

Tutto ciò fa pensare che, in fondo, la presenza in musica di fluctuazioni a spettro di potenza $1/f$ non è così sorprendente.

1.3 Applicazioni

Sulla base dell'algoritmo dei dadi di Voss è stato scritto un programma di composizione in Fortran. Il programma - è compatibile con le subroutines del TAUMUS (⁸), il programma di

- gestione del terminale audio TAU2, dunque produce brani musicali che possono subire tutte le operazioni consentite dai comandi del TAUMUS, come la immediata esecuzione al TAU2, le modifiche previste per i parametri acustici di frequenza, durata, timbro e volume, la memorizzazione in archivio e così via;
- genera sequenze a tre voci di 1024 note ciascuna e definisce secondo l'algoritmo dei dadi sia le frequenze che le durate delle note, mentre timbri e volumi, attualmente, sono fissi. Gli esiti di alcuni dadi utilizzati per il calcolo della sequenza di valori frequenziali vengono anche utilizzati per le durate (eventualmente riscalati): ciò introduce una certa interdipendenza nelle fluttuazioni dei due parametri acustici e favorisce in particolare la sincronizzazione di intervalli grandi nelle frequenze con cambiamenti evidenti nella durata media (su un certo periodo) delle note, accentuando la segmentazione della linea melodica in frasi.

Del programma poi esistono due versioni:

- la prima impiega 13 dadi a 6 facce per le frequenze; 5 di questi dadi vengono ridotti a 2 facce ed impiegati per le durate. La gamma delle frequenze è semitonale, quella delle durate è proporzionale alle prime cinque potenze di 2 (e fornisce di conseguenza strutture ritmiche piuttosto elementari);
- la seconda utilizza 31 dadi a 9 facce per le frequenze; 5 di questi dadi vengono ridotti a 3 facce ed impiegati per le durate. La gamma delle frequenze è semitonale, quella delle durate è proporzionale alle prime undici potenze di 1,5 (°)

2. DADI TRUCCATI

Questa seconda parte modifica e generalizza l'algoritmo discusso nella prima parte.

2.1 Randomizzazione ed equiprobabilità

La matrice binaria M di fig. 1 fornisce una serie di numeri (la colonna di destra di fig. 4a) che si può dire rappresenti il programma dei rilanci dei dadi.

Una prima modifica all'algoritmo di Voss consiste nella randomiz-

(°) Questi programmi sono stati utilizzati per la composizione di due brani ("Lòrien" e "Brea") del 3° disco dimostrativo di computer-music realizzato presso la Divisione Musicologica del CNUCE di Pisa.

zazione del programma dei rilanci, più precisamente nella sostituzione del programma (deterministico) con un processo (stocastico).

Sia n il numero dei dadi. Supponiamo di iterare all'infinito il programma dei rilanci, cioè di costruire una matrice ad infinite righe ed n colonne, ottenuta ripetendo all'infinito la matrice M di fig. 1 (fig. 4a, in cui $n = 4$). La frequenza di rilancio di m dadi è :

$$f(m) = \begin{cases} 2^{-m} \text{ Hz} & \text{per } 1 \leq m \leq n-1 \\ 2^{-m+1} \text{ Hz} & \text{per } m = n \end{cases} \quad (3)$$

(Si è ancora supposto, per fissare le idee, di scandire una riga al secondo).

E' facile costruire un processo $s'(t)$ nel quale la frequenza media di occorrenza del rilancio di m dadi coincida con la (3). Il processo consiste nel compilare a caso una matrice binaria M' (fig. 4b) delle stesse dimensioni della M (fig. 4a), ciò che può essere ottenuto prendendo a caso (equiprobabilità) un numero in base 10 compreso fra 0 e $2^n - 1$ per ogni riga della matrice M' e codificandovelo in binario, e nel rilanciare, ad ogni riga esaminata, un numero di dadi pari al numero di cifre binarie uguali che costituiscono la coda della riga stessa (non vengono più fatti confronti fra le righe). I segmenti orizzontali in fig. 4 indicano il numero di dadi da rilanciare nei due casi.

Si dimostra facilmente che la probabilità del rilancio di m dadi (dunque la frequenza media di ricorrenza di tale rilancio) nel processo randomizzato s' coincide con la frequenza di rilancio dello stesso numero di dadi nel processo originale s .

Da ciò deriva l'uguaglianza fra la vita media dell'esito di un dado in s' e la vita dell'esito dello stesso dado (cioè il periodo di rilancio) in s .

Nella matrice M' tutti i bit non sottolineati non vengono utilizzati, e quindi sono sprecati. In realtà M' non è affatto indispensabile per la costruzione di s' , poiché il processo dei rilanci può essere ottenuto in modo più economico.

Se si considera infatti una sequenza illimitata e casuale di cifre binarie, cioè la sequenza generata da una sorgente binaria equiprobabile e senza memoria, e se si definisce "parola binaria" una sottosequenza di zeri delimitata da due uni 0, viceversa, una sottosequenza di uni delimitata da due zeri, si può dimostrare che la successione delle lunghezze delle parole binarie che compongono la sequenza originaria equivale, come processo, alla successione dei rilanci ricavata da M' nel modo illustrato (se si assume di ridurre a lunghezza n tutte le parole di lunghezza maggiore di n).

Ecco una sequenza binaria illimitata e la successione dei rilanci da essa generata.

1 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 ...
1 2 1 1 1 | 3 1 1 1 | 3 | 2 1 | 3 | 4 | 2 | 1 |

	Matrice M	programma dei rilanci		Matrice M'	processo dei rilanci
0	0 0 0 0	1	4	0 1 0 0	2
1	0 0 0 1	2	5	0 1 0 1	1
2	0 0 1 0	1	1	0 0 0 1	1
3	0 0 1 1	3	15	1 1 1 1	4
4	0 1 0 0	1	13	1 1 0 1	1
5	0 1 0 1	2	4	0 1 0 0	2
6	0 1 1 0	1	14	1 1 1 0	1
7	0 1 1 1	4	3	0 0 1 1	2
8	1 0 0 0	1	1	0 0 0 1	1
9	1 0 0 1	2	6	0 1 1 0	1
10	1 0 1 0	1	4	0 1 0 0	2
11	1 0 1 1	3	15	1 1 1 1	4
12	1 1 0 0	1	12	1 1 0 0	2
13	1 1 0 1	2	7	0 1 1 1	3
14	1 1 1 0	1	3	0 0 1 1	2
15	1 1 1 1	4	8	1 0 0 0	3
0	0 0 0 0	1	6	0 1 1 0	1
1	0 0 0 1	2	10	1 0 1 0	1
2	0 0 1 0	1	0	0 0 0 0	4
3	0 0 1 1	3	13	1 1 0 1	1
4	0 1 0		1 1		
5	0 1		0		
6	0				

a)

b)

Fig. 4 - Randomizzazione dei rilanci dei dadi

Per ottenere $s'(t)$ a partire dalle lunghezze delle parole binarie della sequenza, supponendo di avere 4 dadi, basterà lanciare prima tutti i dadi e sommarli, per ottenere il primo valore $s'(1)$, poi rilanciare l'ultimo, poi gli ultimi due, poi l'ultimo per tre volte consecutive, poi gli ultimi tre, e così via, sommando ad ogni rilancio tutti i dadi.

Ruotando fig. 4b di 90° e modificandola per ottenere uno schema simile a quello di fig. 2 si può notare come la randomizzazione proposta conservi le proprietà musicalmente significative garantite dal l'algoritmo originale, introducendo contemporaneamente maggior va-rietà e flessibilità nelle sequenze generate, spezzando la struttura rigidamente binaria della gerarchia e rendendo possibile la sud-

divisione di ogni frase in un numero qualsiasi di sottofrasi.

Una seconda modifica all'algoritmo dei dadi di Voss nasce dall'esigenza di aumentare la probabilità che la melodia si muova nel grave e nell'acuto (per rimanere sempre al caso in cui $s(t)$ venga associato alle frequenze).

La forma a campana della funzione densità di probabilità $f_s(s)$ del processo $s(t)$ è mostrata in fig. 5a, in cui si copre un range di 36 frequenze utilizzando 7 dadi a 6 facce.

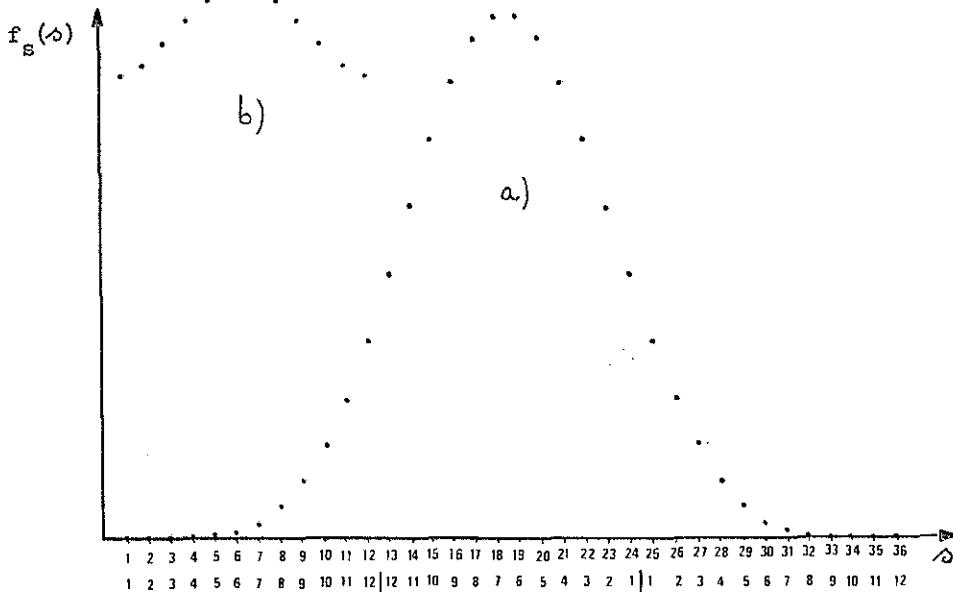


Fig. 5 - Probabilità delle note in una melodia di Voss con e senza barriere riflettenti

Se ora la gamma di 36 note viene suddivisa in tre parti nel modo indicato in figura (la seconda serie di numeri) si otterrà una gamma di 12 note ripetuta tre volte. Ad ogni cammino sulla gamma di 36 note ne corrisponde uno sulla gamma di 12. Ciò equivale a racchiudere un cammino in una gamma più stretta del dovuto ponendo agli estremi due barriere riflettenti. L'operazione è legittima perché il processo $s(t)$ non presuppone l'orientazione della gamma (e neppure del tempo) quindi è invariante per riflessione (e per inversione temporale).

Fig. 5b mostra la densità di probabilità relativa al cammino su 12

note ricavato da quello su 36. Come si vede, le note sono diventate quasi equiprobabili.

2.2 L'algoritmo generalizzato

La terza modifica all'algoritmo dei dadi che viene proposta, la più sostanziale, consiste nell'attribuire ad ogni dado un peso diverso e nel ricavare la sequenza numerica finale tramite somme pesate.

I dadi sono numerati come al solito da 0 ad n , in ordine decrescente di frequenza di rilancio; supponiamo in un primo momento di assegnare al generico dado m il peso $p_m = 2^m$.

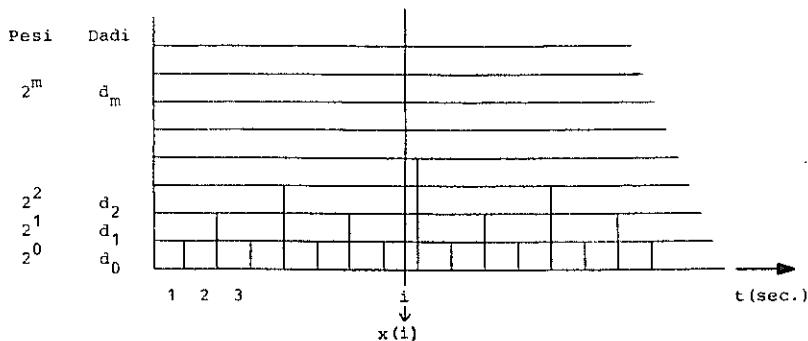


Fig. 6 - Somme pesate dei dadi di Voss

Anche in fig. 6, come in fig. 2, i dadi sono associati alle fasce orizzontali, e ogni rettangolo contiene l'esito del lancio o rilancio di un dado; il valore finale, $x(i)$, viene però ottenuto in questo caso eseguendo la somma pesata dei contenuti di tutti i rettangoli che si trovano al di sopra dell' i -esimo rettangolo della fascia più bassa (quest'ultimo compreso):

$$x(t) = \sum_{m=0}^n 2^m d_m(t) \quad (3)$$

Anche qui, come nella (1), $d_m(t)$ indica il processo associato al d_m -esimo.

Si può verificare, anche senza calcolo diretto, come lo spettro $P_x(f)$ del nuovo processo x risulti diverso dallo spettro $P_s(f)$ del processo s originario. L'aumento di peso dei contributi dei dadi a bassa frequenza (rilanciati raramente) introduce maggior autocorrelazione nelle fluttuazioni delle somme $x(t)$: la funzione di correlazione $R_x(t)$ decresce più lentamente e la $P_x(f)$ risulta modificata di conseguenza.

Nel trattare questa generalizzazione, tuttavia, più che fare riferimento agli spettri di potenza si utilizzano ampiamente concetti e strumenti matematici definiti ed utilizzati (per altri scopi) da B.B.Mandelbrot (⁵), prima fra tutti la nozione di dimensione fratta le poichè, come si vedrà, essa riflette in maniera più immediata dello spettro di potenza le proprietà strutturali delle sequenze numeriche che qui interessa porre in rilievo.

Lo schema del discorso è il seguente:

- Introduzione della serie di Weierstrass con parametro w .
- Analogia fra i due casi estremi della serie di Weierstrass ($w = w_{\min}$; $w = w_{\max}$) e le somme pesate e non pesate ($x(t)$ ed $s(t)$) nell'algoritmo dei dadi.
- Generalizzazione dell'algoritmo (che diventa parametrico in w) per analogia con la generica serie di Weierstrass.
- Attribuzione alle melodie generate dall'algoritmo a parametro w della dimensione frattale D (funzione di w), e di un corrispondente "grado di aggregazione".

La serie di Weierstrass:

$$\sum_{m=0}^{\infty} w^m e^{i2\pi\gamma^m t} \quad (4)$$

dove w e γ sono numeri reali, $\gamma > 1$ e $1/\gamma < w < 1$ converge assolutamente per ogni valore di t e la sua fama è dovuta al fatto che il suo limite è una funzione continua in t e non derivabile in alcun punto.

Una estensione di questa serie viene utilizzata da Mandelbrot (op. cit., pag. 329) per la simulazione dei "moti browniani frazionari", che costituiscono una generalizzazione, da lui stesso concepita, del moto browniano classico.

Si riscriva ora la (4), ponendo $\gamma = 2$ e $w = 1$ in un primo caso (a), $\gamma = 2$ e $w = 1/\gamma = 1/2$ in un secondo caso (b):

$$(a) \sum_{m=0}^{\infty} e^{i2\pi 2^m t}$$

$$(b) \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{2^m} e^{i2\pi 2^m t}$$

(sono i due valori limite per w , dato $\gamma = 2$)
e si confrontino le due serie ottenute con le espressioni (1) e (3) delle somme utilizzate per definire i processi s ed x , e che qui riportiamo per comodità:

$$(1) \sum_{m=0}^n d_m(t)$$

$$(3) \sum_{m=0}^n 2^m d_m(t)$$

(la (1) è stata riscritta con un dado in più).

Come si vede, esiste una certa analogia fra la (a) e la (1), e fra la (b) e la (3). (La differenza nell'espressione dei pesi $1/2^m$ nel la (b) e 2^m nella (3) è solo formale, poichè in entrambi i casi i pesi vanno come le potenze di 2 e ad un raddoppio di frequenza nel la (b), o di frequenza di rilancio nella (3), corrisponde sempre un dimezzamento del peso).

Risulta naturale, estendendo l'analogia, fare corrispondere alla generica serie di Weierstrass, la (4), una somma sul tipo della (3). Tale somma:

$$\sum_{m=0}^n p^m d_m(t) \quad (5)$$

sarà parametrica in p , e si avrà $p = 1/w$, cioè $1 < p < 2$ (perchè se $\gamma = 2$ si ha $1/2 < w < 1$).

p rappresenta la base della serie geometrica dei pesi da attribuire ai dadi, che verranno poi lanciati e rilanciati nel solito modo (deterministico o randomizzato). Ad ogni valore di p corrisponde un algoritmo, dunque un processo, dunque (per fare il solito esempio delle frequenze acustiche) un certo tipo di struttura melodica.

E' possibile associare alle strutture melodiche ottenibili da questa famiglia di processi un secondo parametro, D , dipendente da p . Mandelbrot associa alla serie di Weierstrass (più precisamente, ad una sua particolare estensione) il parametro $H = -(\log w)/(\log \gamma)$, ed attribuisce al suo reciproco $D = 1/H$ il significato di dimensione della traiettoria del moto browniano frazionario simulato tramite la serie stessa. H è un numero reale compreso fra 0 ($w = 1$) e 1 ($w = 1/\gamma$) (per il moto browniano classico $H = 1/2$), dunque la dimensione D è un numero, non necessariamente intero, compreso fra 1 ed ∞ .

In realtà, osserva Mandelbrot, la dimensione della traiettoria di un moto browniano frazionario non può superare la dimensione E dello spazio in cui il moto ha luogo, dunque $D = 1/H$ cessa di rappresentare una dimensione per $D > E$. Per il moto browniano classico ad esempio $D = 2$, ma se il moto ha luogo sulla retta reale ($E = 1$) la sua traiettoria assumerà necessariamente dimensione 1.

Ciò non diminuisce l'importanza del parametro D , che continua a rappresentare la "dimensione potenziale" del moto browniano. Mentre l'esempio del moto browniano classico, infatti, $D = 2$ indica che se il moto ha luogo sulla retta ($E = 1$) esso tenderà ad attraversare ogni punto infinite volte, se posto nel piano ($E = 2$) esso lo invaderà uniformemente, se posto nello spazio tridimensionale ($E = 3$) lo sotto-occuperà.

Si potrà utilizzare dunque anche il parametro D per caratterizzare le melodie generate dalla famiglia di processi precedentemente introdotta. Poichè per p (base dei pesi dei dadi e parametro del processo) si è posto $p = 1/w$, si avrà

$$D = - \frac{\log 1/p}{\log 2}$$

Per avere una idea del modo in cui p o D caratterizzano le melodie si confrontino i profili superiori di fig. 7b, 7c e 7d.

Questi tre profili sono stati ottenuti eseguendo tre volte le same pesate degli esiti, riportati in fig. 7a, dei lanci di tre dadi a due facce, e utilizzando in ogni caso un differente valore del parametro p , la base dei pesi, come indicato in figura.

Pesi

d_0	d_1	d_2	1	2	2	1
			2	1	1	2
			1	2	1	2

a)

b	c	d
1	$\frac{2}{\sqrt{2}}$	4
1	$\sqrt{2}$	2
1	1	1

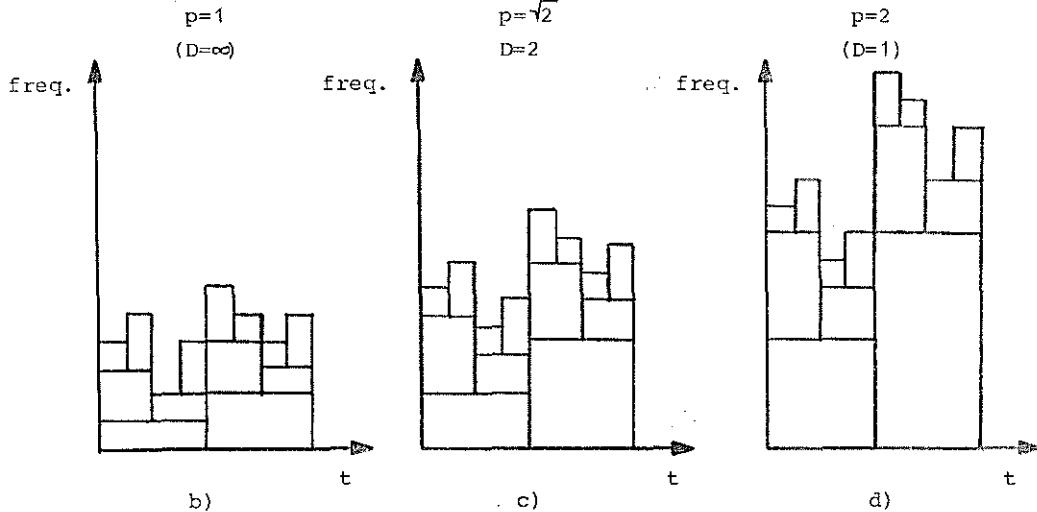


Fig. 7 - Melodie ottenute pesando i dadi in tre modi differenti

Come si vede la scomposizione dell'intera frase di otto note in due frasi di quattro, e la ulteriore scomposizione di queste ultime in due sottofrasi di due note ciascuna appare più evidente al diminuire del parametro D. In altre parole, la diminuzione di D rende più nitida la strutturazione in livelli gerarchici.

Come si vedrà nel prossimo capitolo, nel modello di distribuzione stellare proposto da Mandelbrot e basato sul cosiddetto "volo di Lévy", la diminuzione del parametro D ha esattamente lo stesso effetto: quello di aumentare il numero di livelli gerarchici e la loro distinguibilità.

Va sottolineato che se l'analogia fra la (4) e la (5) è abbastanza forte da giustificare l'introduzione del parametro D anche per la seconda, è discutibile la legittimità dell'attribuzione a D, an-

che nel caso della (5), del preciso significato di dimensione frattale (si pensi al numero di addendi, infinito nel primo caso, finito nel secondo). Tuttavia la significatività del parametro D anche nel caso di somme finite appare evidente negli esempi di fig. 7, e un semplice test consente di verificare fino a che punto esso continui a comportarsi come una dimensione (nel senso di Mandelbrot). Si supponga di costruire melodie a scala imponendo agli esiti dei lanci valori ordinati, secondo questo schema (da interpretarsi come quello di fig. 7a).

1		2	
1	2	1	2
1	2	1	2

so punto; negli altri due casi l'asse viene ricoperto "più intensamente", e nel caso b) ($D = \infty$) più che nel caso c) ($D = 2$).

In questo senso sembra abbastanza naturale continuare ad attribuire a D il significato di "dimensione potenziale" della linea melodica.

Si osservi, per concludere, che questo algoritmo generalizzato conserva le proprietà musicalmente significative dell'algoritmo originale, alterandole solo quantitativamente.

Usando i dadi pesati, infatti, come appare dagli esempi di fig.7, si ottengono sequenze musicali che presentano una distribuzione temporale dei salti simile a quella fornita dall'algoritmo originale, e gli stessi tempi di correlazione; in breve, la musica continua ad essere autosimile. L'unica proprietà che cade è lo spettro 1/f.

2.3 Applicazioni

Sulla base dell'algoritmo dei dadi pesati e dei lanci randomizzati è stato scritto un programma Fortran di composizione, in più versioni e compatibile, come il precedente (paragrafo 1.3), con il sistema TAUMUS - TAU2.

Anche questo programma genera sequenze a tre voci di 1024 note ciascuna e definisce sia le frequenze che le durate delle note, mentre timbri e volumi, attualmente, sono fissi.

Una prima versione del programma utilizza 8 dadi a 2 facce ($\{0,1\}$), con $p = 2$ ($D = 1$), per le frequenze, e gli stessi dadi, ma non pesati, per le durate, con la conseguente interdipendenza fra i due parametri.

L'uso di dadi pesati modifica la densità di probabilità delle frequenze e, in particolare, $p = 2$ comporta una densità costante, cioè

Disegnando le tre linee melodiche corrispondenti a questi lanci, come in fig.7, e proiettandole sull'asse verticale (freq.), si vedrà come solo nel caso d) ($D=1$) il cammino melodico percorra tutto l'asse senza ripassare più volte per lo stesso punto;

l'equiprobabilità. Si noti che con dadi del tipo $\{0,1\}$ e con $p = 2$, $x(t)$ non è altro che il numero binario che si ottiene leggendo gli esiti dei lanci dal dado d_n al dado d_0 .

Una seconda versione del programma utilizza 8 dadi a 3 facce ($\{0, 1, 2\}$), con $p = \sqrt{2}$ ($D = 2$) per le frequenze, e altri 8 dadi non pesati a 3 facce per le durate; i due parametri acustici risultano indipendenti.

E' inutile elencare qui tutte le possibili varianti a questo programma, che dipendono oltre che dal valore di p , dal numero di facce dei dadi e dalla specifica espressione analitica di frequenze e durate, funzioni dei valori di $x(t)$. Tuttavia, a parte i dettagli, per quanto si può giudicare dalle prime esperienze con i programmi cui si fa cenno in questo paragrafo e nel paragrafo 1.3, la musica forse più interessante sembra essere quella generata dal programma in versione randomizzata e con $p = \sqrt{2}$.

3. MUSICA AUTOSIMILE

Le quattro osservazioni che seguono ricapitolano alcune questioni relative allo spettro $1/f$ e ne pongono in discussione il ruolo musicale.

- 1) Le applicazioni musicali dell'algoritmo dei dadi di Voss per la generazione di sequenze a spettro $1/f$ sono fondate sull'osservazione sperimentale di tali spettri nelle fluttuazioni di alcune variabili temporali associate a brani di musica non artificiale.
- 2) Lo studio delle sequenze generate dall'algoritmo dei dadi (prima parte di questo scritto) rivela, a monte dello spettro $1/f$, una serie di proprietà di particolare importanza in senso musicale; per queste proprietà si è stabilita la seguente doppia implicazione:

particolare distribuzione temporale dei
salti
 \nwarrow autosimilitudine \nwarrow successione $T_m = T \cdot 2^m$ dei tempi di correlazione, struttura gerarchica e nidificata.

- 3) Si è anche visto come sia possibile stabilire una relazione fra l'organizzazione gerarchica dei tempi di correlazione $T_m = T \cdot 2^m$, e lo spettro di potenza $1/f$. E' importante sottolineare che tale relazione non è una implicazione (\Rightarrow). Infatti l'ipotesi che ha permesso a Van Der Ziel di ricavare uno spettro $1/f$ dalla distribuzione (2) di tempi di correlazione (corrispondente all'organizzazione gerarchica dei rilanci dei dadi) era che le rispettive

- funzioni di autocorrelazione fossero tutte uguali fra loro, a meno di uno scalamento dell'asse dei tempi, ciò che equivale ad utilizzare, nell'algoritmo di Voss, dadi di ugual peso (vedi fig. A3.1); se invece i dadi vengono pesati diversamente, la proprietà dello spettro $1/f$ cade, (vedi paragrafo 2.2) mentre non cade, ovviamente, l'organizzazione gerarchica.
- 4) Si è anzi visto che l'uso di dadi a pesi diversi consente non solo di mantenere, ma eventualmente di migliorare, dal punto di vista dell'ascoltatore, la struttura autosimile della musica e le proprietà interessanti ad essa associate.

Queste osservazioni mettono in luce come lo spettro $1/f$ sia solo uno degli effetti, neppure necessario, della proprietà dell'autosimilitudine e come in campo musicale sia quest'ultima a giocare, a monte, un ruolo importante. Risulta così conveniente orientare la composizione automatica alla ricerca di algoritmi che sintetizzino direttamente tale proprietà, passando dalla musica $1/f$ alla musica autosimile. A questo proposito viene introdotto ed applicato un particolare processo stocastico, il cosiddetto "volo di Lévy".

3.1 Il volo di Lévy

Si ottiene un volo di Lévy quando un punto si muove nello spazio euclideo n -dimensionale per salti successivi che siano:

- statisticamente indipendenti
- isotropi per quanto riguarda la direzione
- distribuiti con probabilità

$$P(L > \ell) \propto \ell^{-D} \quad (D > 0, \text{ reale}) \quad (6)$$

per quanto riguarda la loro lunghezza, o modulo, L .

Se, per fissare le idee, si immagina che il punto compia un salto ogni secondo, l'intera traiettoria del volo ($-\infty < t < +\infty$) sarà una poligonale orientata, illimitata e ad infiniti vertici.

Mandelbrot ha mostrato (op. cit., Cap. 5) come l'insieme infinito dei vertici del volo di Lévy sia statisticamente autosimile e presenti una organizzazione gerarchica tale da consentirne l'uso come modello della distribuzione delle stelle nell'universo, con galassie aggregate in ammassi di galassie, a loro volta aggregati in ammassi di ordine superiore, e così via; la stessa proprietà suggerisce qui l'utilizzo del processo per scopi musicali (°).

(°) Si sarà notato che la (6) è una pseudo-distribuzione di probabilità, perché $P(L > 0) = \infty$. A ciò si può ovviare ponendo $1 < L < +\infty$ anziché $0 < L < +\infty$. L'insieme infinito dei vertici del volo di Lévy allora risulta autosimile asintoticamente, cioè le galassie saranno tanto più simili agli ammassi di galassie di cui fanno parte, quan (continua pag. seg.)

L'esponente reale D , come osservato da Mandelbrot, oltre a rappresentare la dimensione dell'insieme di punti informa sul "grado di aggregazione" delle galassie: una diminuzione di D corrisponde ad un aumento delle distanze relative degli aggregati di galassie, su qualsiasi livello, e pone in maggior evidenza la struttura gerarchica.

Operare su D significa dunque modificare la struttura della sequenza musicale, per esempio della linea melodica, esattamente come in fig. 7.

3.2 Lo spazio acustico

Si consideri uno spazio n -dimensionale in cui ad ognuno degli assi x^i è associato un parametro acustico. Le n coordinate $(x_P^1, x_P^2, \dots, x_P^n)$ del generico punto P individuano altrettanti valori dei parametri acustici, dunque è possibile definire "eventi sonori" i punti dello spazio.

Ogni asse x^i sia dotato di una metrica (cioè di una funzione d_i che ad ogni coppia (x_P^i, x_Q^i) di punti sull'asse associa la loro distanza $d_i(x_P^i, x_Q^i)$), e l'intero spazio sia dotato di questa metrica

$$d(P, Q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n d_i(x_P^i, x_Q^i)} \quad (7)$$

dove $P (x_P^1, x_P^2, \dots, x_P^n)$ e $Q (x_Q^1, x_Q^2, \dots, x_Q^n)$ sono due punti qualsiasi dello spazio (la distanza pitagorica sarebbe

$$d(P, Q) = \left[\sum_{i=1}^n d_i^2(x_P^i, x_Q^i) \right]^{1/2}.$$

Adottare questa metrica significa assumere implicitamente l'ipotesi che la distanza percepita fra due eventi sonori sia la somma delle distanze fra i valori dei singoli parametri.

Per una piena giustificazione della (7) in senso psicoacustico sarebbe necessario

- utilizzare distanze d_i a loro volta giustificate in senso psicoacustico;
- discutere se e perché essa misura la "distanza percepita" meglio di altre distanze che sarebbe possibile definire.

In realtà i problemi che nascono a questo punto ammettono senz'altro più soluzioni, ma la loro discussione porterebbe troppo lontano e non viene affrontata.

to più in alto è il loro livello gerarchico. Per eliminare il comportamento "anomalo" dei livelli gerarchici bassi sarà sufficiente disegnare l'universo con una scala tale per cui i segmenti L di lunghezza inferiore ad un dato valore L_0 (con $L_0 \gg 1$) si confondono con dei punti. Ciò significa trasformare in stelle tutti gli ammassi di ordine di grandezza L_0 , perdendo i dettagli della struttura gerarchica sui livelli più bassi di questo. In parole povere, è come guardare l'insieme di punti da più lontano, allargando la visuale ma perdendo i particolari.

Definite le gamme per le frequenze e le durate, in corrispondenza biunivoca con una serie di indici, per distanza fra due frequenze o due durate si assumerà semplicemente il valore assoluto della differenza fra gli indici. Ad esempio, la distanza fra le due frequenze

$$f_1 = 16 \cdot 2^{31/12} \text{ Hz} \quad \text{ed} \quad f_2 = 16 \cdot 2^{34/12} \text{ Hz}$$

sarà 3 (semitoni), essendo gli indici 31 e 34.

La distanza (7) viene poi adottata non tanto per una sua eventuale adeguatezza psicoacustica, quanto per gli effetti che essa soltanto, associata all'impiego del volo di Lévy, produce nelle strutture musicali, come si vede nel paragrafo successivo.

3.3 Volo di Lévy nello spazio acustico: fluttuazioni degli eventi sonori e dei singoli parametri acustici

Supponiamo di ambientare un volo di Lévy ad esponente D in uno spazio acustico, inizialmente bidimensionale, dotato della metrica (7). Gli assi x ed y sono associati a due parametri acustici che indichiamo con le stesse lettere x ed y: ogni evento sonoro è (corrisponde biunivocamente a) una coppia di valori dei due parametri.

Fig. 8 mostra il salto dall'evento sonoro P_0 all'evento sonoro P_1 . Deciso il modulo L del salto (in base alla (6)), il punto P_1 viene scelto a caso fra quelli che distano L (nel senso della (7)) da P_0 ; P_1 cioè è un punto qualsiasi del "cerchio" di centro P_0 e raggio L.

La distanza fra i due punti (eventi) è

$$\begin{aligned} d(P_0, P_1) &= |x_0 - x_1| + |y_0 - y_1| = \\ &= X + Y = L \end{aligned}$$

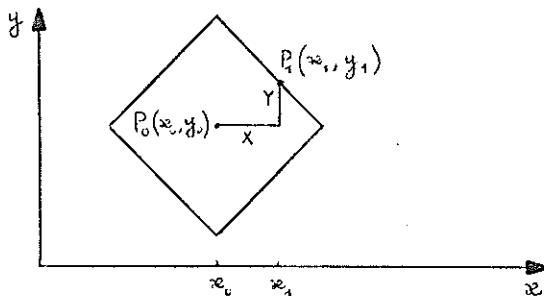


Fig. 8 - Il salto dall'evento sonoro P_0 all'evento sonoro P_1

Procedendo allo stesso modo, verranno scelti i punti $P_2, P_3 \dots P_n$, fino ad ottenere la sequenza di eventi sonori desiderata.

L'aver adottato la metrica (7) comporta una interessante conseguenza, che si riflette nella struttura della sequenza musicale ottenuta.

Si consideri la successione dei valori assunti, poniamo, dal parametro acustico x , cioè la successione di punti $x_0, x_1, \dots, x_n \dots$ sull'asse x ; ebbene, si può dimostrare che questi punti costituiscono a loro volta i vertici di un volo di Lévy (sulla retta) ad esponente D , cioè formano un insieme dotato della stessa struttura gerarchica e dello stesso grado di aggregazione dell'insieme degli eventi sonori (i punti nel piano). Lo stesso risultato, ovviamente, vale per il parametro acustico y .

La dimostrazione di questa affermazione, che qui non viene ripartita per esteso, consiste principalmente nello studio delle densità marginali di probabilità $f_x(x)$ ed $f_y(y)$. A questo proposito giova osservare che, dato P_0 , è possibile ricavare P_1 in un modo diverso da quello visto in fig. 8, ma equivalente. Si sceglie un segmento di lunghezza L (e che chiameremo per comodità proprio L) che soddisfi la (6) e si sceglie un punto M a caso sul segmento (a densità costante nell'intervallo $[0, L]$) (vedi fig. 9); le lunghezze X ed Y dei due segmenti ottenuti sono due variabili aleatorie dipendenti;

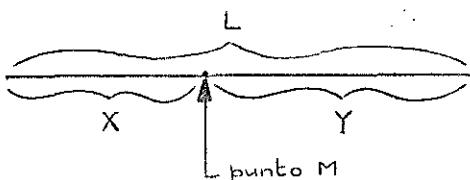


Fig. 9 - Scelta delle componenti (val. ass.) del vettore salto

Si associa a caso (equiprobabilità) a ciascuno dei due segmenti X e Y (continuando a confondere i segmenti con le loro lunghezze aleatorie) il segno + o il segno -, e si interpretano X ed Y , con i rispettivi segni, come coordinate del nuovo punto P_1 rispetto a P_0 (proprio come in fig. 8).

Sfruttando questo espediente, il calcolo di $f_x(x)$ ed $f_y(y)$ procede più spedito.

Il risultato ottenuto con il volo di Lévy nel piano è generalizzabile a spazi acustici ad n dimensioni. Basterà iterare la suddivisione di L come mostrato in fig. 10, dove il segmento originario L (il salto totale) viene suddiviso in sei segmenti (i salti parziali sugli assi) tramite cinque punti scelti a caso ma con quest'ordine:

- M_0 , a densità uniforme nell'intervallo $[0, L]$

- M_0 ed M_1 , a densità uniforme in $[0, M]$ e $[M, L]$

- M_{10} ed M_{11} , a densità uniforme in $[M, M_0]$ e $[M_1, L]$

Associando ai 6 segmenti trovati un segno casuale si otterrà il vettore salto da un evento acustico al successivo, nello spazio a 6 dimensioni.

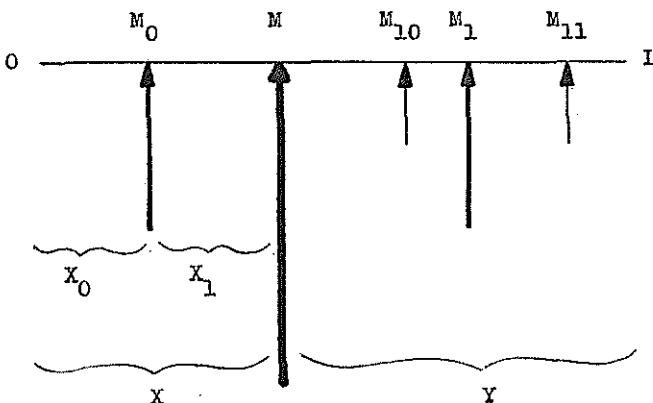


Fig. 10 - Scelta delle componenti (valore assoluto) del vettore salto nello spazio acustico a sei dimensioni

Così se il volo di Lévy a salto L genera un universo con la stessa dimensione (lo stesso grado di aggregazione) dell'universo generato dal volo a salto X , per come si sono scelti i punti M la stessa cosa dovrà valere leggendo X al posto di L , ed X_0 al posto di X (fig. 10).

Analizziamo ora dal punto di vista musicale le proprietà della musica generata con il volo di Lévy nello spazio acustico.

- 1) Gli eventi sonori P_i , come vertici di un volo di Lévy ad esponente D costituiscono un insieme statisticamente autosimile, con le conseguenze musicalmente significative che ciò comporta. Tali conseguenze sono già state discusse nelle parti 1. e 2. di questo scritto.
- 2) D'altra parte i valori x_i del parametro acustico x (ma il discorso vale per ogni altro parametro acustico), come vertici di un volo di Lévy ad esponente D sulla retta x , formano un insieme le cui proprietà statistiche coincidono con quelle dell'insieme degli eventi sonori P_i .

Si può dire allora che nel generare una sequenza musicale il volo di Lévy controlla contemporaneamente, e per di più nello stes-

so modo, sia le fluttuazioni dei singoli parametri acustici che quelle degli eventi sonori (intesi come n-uple di valori dei parametri acustici). Tale proprietà crea una certa differenza fra questa musica, ottenuta dal processo di Lévy, e la musica ricavata dai processi discussi in precedenza. In quella musica, infatti, o si usava un unico processo per la scelta della successione dei valori di più parametri acustici (la limitazione di tale criterio è ovvia) o si usavano più processi, paralleli ed indipendenti: in questo caso però gli eventi sonori, intesi come unità complesse, non risultavano sottoposti ad alcun controllo.

- 3) La dipendenza già osservata fra le variabili X ed Y implica la dipendenza delle fluttuazioni dei parametri acustici x ed y. (il discorso vale per un numero qualsiasi di parametri). In particolare si potrebbe dimostrare che la dipendenza fra X ed Y rideuce (rispetto al caso di X ed Y indipendenti, ma distribuite allo stesso modo) la eccessiva polarizzazione dei salti lungo gli assi, rendendo in un certo senso più proporzionata la suddivisione del salto totale (fra gli eventi sonori) nei salti parziali (fra i valori dei singoli parametri acustici).

Sottolineiamo, per concludere, una differenza di fondo fra il processo dei dadi di Voss e quello di Lévy: quello non era markoviano (⁰), questo lo è.

In altri termini la prevedibilità del valore della somma dei da di all'istante ($t + 1$), cioè di $s(t + 1)$, aumenta se oltre al valore attuale $s(t)$ si conosce qualche valore precedente, mentre nel volo di Lévy tutta l'informazione utile alla previsione del futuro è contenuta nel valore attuale.

Ovviamente in un processo in cui il futuro dipende dal passato, quest'ultimo deve venire ricordato, dunque i requisiti di memoria debbono essere maggiori rispetto al caso di un processo markoviano. Di fatto il processo di Voss deve conservare gli esiti dei lanci di ogni dado per periodi tanto più lunghi quanto più alto è il livello gerarchico del dado stesso; nel volo di Lévy ciò non accade e, nella simulazione tramite programma, nessun valore relativo al passato viene conservato.

3.4 Applicazioni

Il capitolo delle applicazioni musicali del volo di Lévy, come processo per la generazione di strutture autosimili, è ancora in gran parte da scrivere.

Come nei casi precedenti, la bontà dei risultati musicali oltre

(⁰) Si può dire, in breve, che "un processo è markoviano se il passato non influenza la statistica del futuro, sotto la condizione che il presente sia conosciuto" ((³), pag. 298).

che dal processo e dal suo parametro D , dipenderà da come viene costruito lo spazio acustico, da quanti e quali parametri acustici vengono associati agli assi, e da quale metrica si sceglie per ciascuno di essi (mantenendo per l'intero spazio la metrica (7)).

Uno stesso parametro potrà venire associato a più assi: la presenza di più assi per la frequenza, ad esempio, fa sì che un evento sonoro sia costituito da più note.

A differenza del processo dei dadi di Voss, il volo di Lévy richiede necessariamente barriere riflettenti agli estremi delle gamme utilizzate.

E' stato realizzato ed è in fase di perfezionamento un programma, compatibile con il sistema TAUMUS - TAU2 (vedi paragrafo 1.3), per la simulazione di un volo di Lévy ad esponente $D = 1$ in spazi acustici a quattro e a sei dimensioni. Il valore $D = 1$ impiegato può venir confrontato, per curiosità, con i valori impiegati da Mandelbrot nei modelli di distribuzione stellare da lui stesso proposti. Un valore in buon accordo con le osservazioni sperimentali del grado di aggregazione delle galassie nell'universo è $D = 1,3$.

APPENDICE 1. Sulla distribuzione dei salti nel processo dei dadi di Voss

Si vuole calcolare la probabilità $p_m(x)$ che la variabile aleatoria discreta

$$x_m = s(t+1) - s(t)$$

assuma valore x , dove s è il processo del lancio dei dadi di Voss ed m è il numero di dadi rilanciati nella transizione $s(t) \rightarrow s(t+1)$. (Si osservi che il salto x dipende da t solo attraverso m , e ciò non de superfluo indicare il salto con $x_m(t)$).

I salti e le rispettive probabilità non cambiano se l'insieme degli esiti possibili di ogni dado viene traslato in modo che la media si annulli (è conveniente in questo caso ammettere anche esiti semi-interi; per un dado d a 4 facce, ad esempio, si avrà: $d = \{-1.5, -.5, .5, 1.5\}$).

Introducendo la nuova variabile aleatoria D_m , che rappresenta la somma degli esiti del lancio di m dadi, si avrà

$$s(t+1) - s(t) = x_m = D_m - D_{m-1}$$

("=" e "-" indicano in questo caso uguaglianza e differenza di variabili aleatorie)

Si consideri ora la variabile

$$Y_m = D_m + b_m$$

e si rappresentino le probabilità in gioco sotto forma di funzioni densità di probabilità (poiché le variabili sono discrete, queste funzioni saranno somme di impulsi).

Si può dimostrare, facendo uso della densità di probabilità $f_{D_m}(x)$ della variabile D_m , che le due densità $f_{X_m}(x)$ ed $f_{Y_m}(x)$ coincidono. Infatti

$$X_m = D_m + (-D_m) \quad ; \quad f_{X_m}(x) = f_{D_m}(x) * f_{-D_m}(x)$$

(* indica convoluzione)

ma

$$f_{-D_m}(x) = f_{D_m}(-x) = f_{D_m}(x)$$

(la seconda uguaglianza discende dalla simmetria di $f_{D_m}(x)$, che a sua volta discende dalla simmetria dei dadi a media zero), dunque:

$$f_{X_m} = f_{D_m} + f_{D_m} = f_{Y_m}$$

Per come è definito y_m risulta dunque che la probabilità di un salto nel rilancio di m dadi è uguale alla probabilità di ottenere la somma x nel lancio di $2m$ dadi. Tali probabilità assumono una espressione analitica semplice solo con dadi a 2 facce: $\{-1/2, +1/2\}$ (monete). In questo caso:

$$p_{X_m}(x) = p_{Y_m}(x) \propto \binom{2m}{x+m}$$

(x è necessariamente intero, e si ha $-m \leq x \leq +m$)

I grafici di fig. Al mostrano le probabilità (non normalizzate) dei salti che si ottengono con dadi a 6 facce (come quelli usati nella prima versione del programma descritto al paragrafo 1.3) in funzione del numero m di dadi rilanciati.

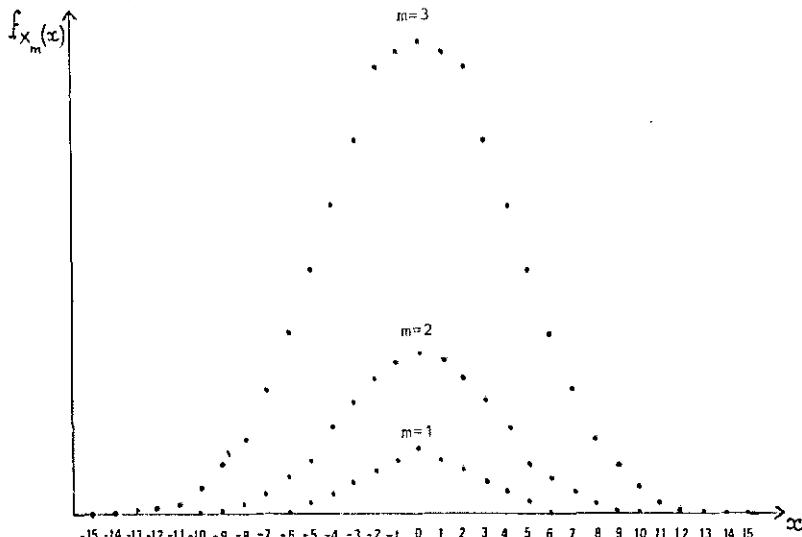


Fig. Al - Probabilità dei salti in funzione dei dadi rilanciati (m)

Va sottolineato che le probabilità qui ricavate sono ben distinte, sia concettualmente che numericamente, dalle probabilità condizionali $p_{x_m}(x|s(t))$, che non vengono calcolate.

APPENDICE 2. Un esempio di struttura gerarchica ed autosimile nella musica

Si consideri la classica disposizione degli accenti (misurati, dal più forte al più debole, con i numeri da 3 a 0) nella più elementare sequenza ritmica (binaria):

sequenza di battiti	!	:	:	:	:	:	:	!	!	→
intensità degli accenti	3	0	1	0	2	0	1	0		t

Tale sequenza di accenti è connaturata nelle abitudini percettive al punto tale da venire "percepita" anche in sequenze di battiti completamente prive di accentazione (come il ticchettio della sveglia) ed è chiaramente sottesa da una struttura gerarchica, rappresentabile sotto forma di albero binario:

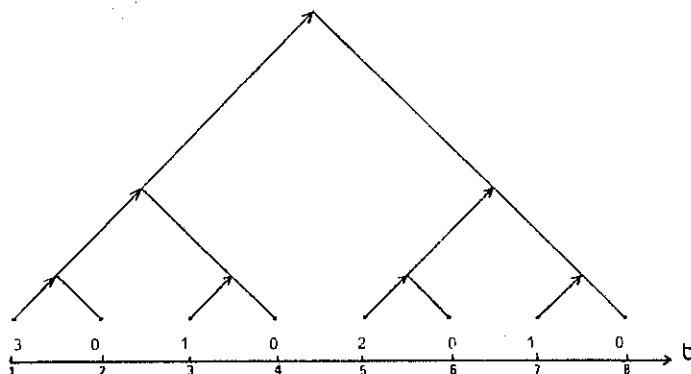


Fig. A2 - Organizzazione gerarchica degli accenti in una sequenza di battiti

L'intensità dell'accento associato ad ogni battito può essere ricavata risalendo l'albero a partire dal battito stesso e contando il numero dei rami consecutivi orientati a destra (le frecce della figura), come osservato da Lidov e Gabura (6). Un albero binario (infinitamente ramificato verso il basso) è d'altra parte un tipico esempio di struttura autosimile: ogni ramo è simile ad ogni altro ramo, ed all'intero albero.

APPENDICE 3. Sullo spettro di potenza del processo dei dadi di Voss

Il calcolo teorico dello spettro di potenza $P_s(f)$ del processo

$$s(t) = \sum_{m=0}^n d_m(t)$$

richiede la conoscenza della sua funzione di autocorrelazione $R_s(t)$, dunque dell'autocorrelazione $R_{d_m}(t)$ del processo $d_m(t)$ associato al generico dado d_m . A questo scopo è necessario compiere una prima approssimazione e rendere stazionari i processi $d_m(t)$, mantenendo per ogni dado lo stesso periodo di rilancio $T_m = T \cdot 2^m$, ma rendendo aleatoria la fase (i rilanci dei dadi non sono più sincronizzati). Rinunciando al controllo delle fasi e supponendo di utilizzare dadi a 2 facce $\{+1, -1\}$ (il che non è restrittivo), $d_m(t)$ si riduce al noto processo della "trasmissione telegrafica casuale" (vedi ad esempio ⁽³⁾ pag. 294) per il quale

$$R_{d_m}(t) = \begin{cases} 0 & \text{se } t \geq T_m \\ 1 - \frac{|t|}{T_m} & \text{se } t < T_m \end{cases}$$

Fig. A3.1 illustra le funzioni di autocorrelazione dei primi tre dati.

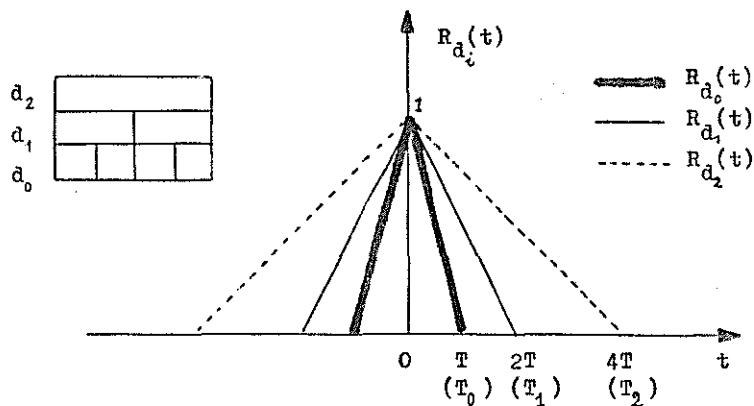


Fig. A3.1 - Funzioni di autocorrelazione dei processi relativi ai primi tre dadi

L'autocorrelazione $R_s(t)$ del processo $s(t)$ è

$$R_s(t) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n R_{d_i d_j}(t)$$

$(R_{d_i d_i}(t) \equiv R_{d_i}(t))$, ma tutte le correlazioni incrociate (i termini del tipo $R_{d_i d_j}(t)$, con $i \neq j$) si annullano perché i dadi sono indipendenti.

Dunque

$$R_s(t) = \sum_{m=0}^n R_{d_m}(t) \quad .$$

$P_{d_m}(f)$, lo spettro di potenza del processo $d_m(t)$, è la trasformata di Fourier di $R_{d_m}(t)$:

$$P_{d_m}(f) = \frac{\sin^2(\pi T_2^m f)}{\pi^2 T_2^m f^2}$$

dunque, per la linearità della trasformata:

$$P_s(f) = \sum_{m=0}^n P_{d_m}(f) = \sum_{m=0}^n \frac{\sin^2(\pi T_2^m f)}{\pi^2 T_2^m f^2} \quad (A3.1)$$

Si osservi ora che la famiglia delle $P_{d_m}(f)$ è tale che:

$$P_{d_m}(f) = 2^m P_{d_0}(2^m f)$$

Ciò implica che il grafico di ogni funzione della famiglia è ottenibile a partire da quello della $P_{d_0}(f)$, scalando opportunamente entrambi gli assi.

E' possibile allora valutare la somma (A3.1) utilizzando il solo grafico della $P_{d_0}(f)$:

$$P_s(\tilde{f}) = \sum_{m=0}^n 2^m P_{d_0}(2^m \tilde{f}) \quad (A3.2)$$

Fig. A3.2 mostra il grafico della $P_{d_0}(f)$ e i primi cinque addendi della somma (A3.2), con l'indicazione dei coefficienti moltiplicativi (i numeri cerchiati).

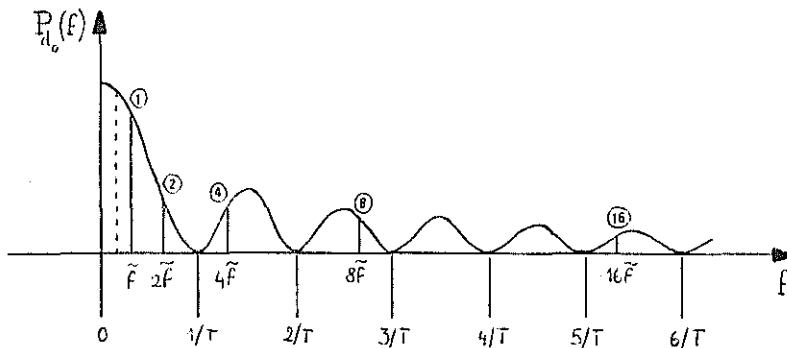


Fig. A3.2 - Spettro di $d_0(t)$ e rappresentazione grafica della somma (A3.2)

Facciamo tendere n ad infinito. E' facile rendersi conto che la somatoria (A3.2) converge per ogni f e che, per $\tilde{f} \ll 1/T$ si ha

$$P_s(\tilde{f}) \simeq 1/2 P_s(\tilde{f}/2)$$

I campioni di $P_d(f)$ che danno $P_s(\tilde{f}/2)$ infatti sono gli stessi che danno $P_s(\tilde{f})$, più uno (quello tratteggiato in figura), ma la serie dei coefficienti moltiplicativi risulta traslata di un posto, dunque il risultato totale raddoppia.

Più in generale:

$$P_s(\tilde{f}) \simeq \frac{1}{2^K} P_s(\tilde{f}/2^K) \quad (\text{A3.3})$$

La zona $f \ll 1/T$, che corrisponde a periodi molto maggiori di $T = T_0$, periodo di rilancio del dado d_0 , è quella in cui interessa studiare lo spettro. La (A3.3) non dimostra che in questa zona lo spettro ha andamento $1/f$, ma che ha tale andamento se ristretto agli insiemi di punti $\tilde{f}/2^K$ (e ciò vale per ogni $\tilde{f} \ll 1/T$).

Si può avere una idea più precisa dell'andamento della funzione $P_s(f)$ vicino allo zero consultando la tabella alla pagina seguente, che riporta i valori di 100 campioni equidistanziati e compresi fra 0 e $(1/T) \cdot 10^5 \text{ Hz}$ (calcolati con $n = 12$, cioè con la somma di 13 spettri parziali, ovvero con 13 dadi, tanti quanti quelli usati nella prima versione del programma descritto al paragrafo 1.3).

Il fatto che i valori della terza colonna ($f \cdot P_s(f)$) siano grosso modo costanti implica che l'andamento di $P_s(f)$ è approssimativamente K/f .

f	$P_s(f)$	$f \cdot P_s(f)$	f	$P_s(f)$	$f \cdot P_s(f)$
1	0.657	0.657	51	0.012	0.623
2	0.330	0.660	52	0.012	0.620
3	0.240	0.720	53	0.012	0.619
4	0.164	0.559	54	0.011	0.553
5	0.150	0.749	55	0.011	0.550
6	0.119	0.715	56	0.011	0.500
7	0.108	0.676	57	0.010	0.523
8	0.081	0.651	58	0.010	0.572
9	0.080	0.721	59	0.009	0.560
10	0.074	0.733	60	0.009	0.550
11	0.067	0.734	61	0.009	0.540
12	0.059	0.703	62	0.009	0.522
13	0.054	0.706	63	0.008	0.522
14	0.048	0.573	64	0.008	0.541
15	0.043	0.541	65	0.008	0.532
16	0.040	0.435	66	0.008	0.532
17	0.040	0.677	67	0.008	0.563
18	0.039	0.704	68	0.008	0.577
19	0.037	0.712	69	0.008	0.571
20	0.036	0.718	70	0.008	0.570
21	0.035	0.726	71	0.008	0.570
22	0.032	0.712	72	0.008	0.707
23	0.030	0.685	73	0.008	0.673
24	0.028	0.620	74	0.008	0.600
25	0.027	0.685	75	0.008	0.673
26	0.026	0.681	76	0.008	0.600
27	0.024	0.657	77	0.008	0.575
28	0.023	0.685	78	0.008	0.582
29	0.022	0.620	79	0.008	0.525
30	0.020	0.612	80	0.008	0.600
31	0.019	0.520	81	0.007	0.626
32	0.019	0.604	82	0.007	0.503
33	0.019	0.623	83	0.007	0.677
34	0.019	0.584	84	0.007	0.602
35	0.019	0.543	85	0.007	0.577
36	0.019	0.669	86	0.007	0.577
37	0.018	0.673	87	0.007	0.577
38	0.018	0.674	88	0.007	0.582
39	0.017	0.605	89	0.006	0.572
40	0.017	0.679	90	0.006	0.566
41	0.017	0.683	91	0.006	0.551
42	0.016	0.624	92	0.006	0.550
43	0.016	0.671	93	0.006	0.541
44	0.015	0.660	94	0.006	0.523
45	0.015	0.654	95	0.006	0.577
46	0.014	0.540	96	0.006	0.570
47	0.013	0.625	97	0.006	0.580
48	0.013	0.622	98	0.006	0.546
49	0.013	0.625	99	0.005	0.542
50	0.013	0.625	100	0.005	0.532

Tabella di campioni di $P_s(f)$ e di $f \cdot P_s(f)$

(per la frequenza di rilancio del dado d_0 si è assunto il valore puramente convenzionale $f_0 = 1/T = 10^3$ Hz).

BIBLIOGRAFIA

- 1 - R.F.Voss, J.Clarke "1/f noise' in music: Music from 1/f noise"
J.Acoust.Soc.Am. 63(1), Jan. 1978 .
- 2 - M.Gardner "Musica bianca, musica scura, curve fratte e fluttuazioni uno-su-effe", Le Scienze, a gosto 1978.
- 3 - A.Papoulis "Probability, Random Variables, and Stochastic Processes", Mc Graw Hill, 1965 .
- 4 - L.B.Meyer "Meaning in Music and Information Theory"
J.A.A.C., June 1957, trad. it. su "Estetica e teoria dell'informazione" AA.VV. , Bompiani 1972 .
- 5 - B.B.Mandelbrot "Fractals - Form, Chance and Dimension" , Freeman and Co., 1977.
- 6 - D.Lidov, J.Gabura "A Melody Writing Algorithm Using a Formal Language Model", Comp. Stud. Hum. & Verbal Behaviour, IV, n° 3-4, 1973.
- 7 - A.Van Der Ziel "On the Noise Spectra of Semi-Conductor Noise and of Flicker Effect" , Physica XVI, n° 4, April 1950 .
- 8 - T.Bolognesi, P.Grossi "Modalità operative del TAUMUS, software di gestione del terminale audio TAU2 (seconda versione)" , Pubblicazione CNUCE - C.N.R. 158, Febbraio 1979 .

IDENTIFICAZIONE DEI PARAMETRI DI UN OSCILLATORE VOSIM A PARTIRE DA UNA DESCRIZIONE SPETTRALE

E. DE POLI

G. DE POLI

Istituto di Elettrotecnica e di Elettronica - Computer Music Group - Università di Padova

INTRODUZIONE

W. Kaegi dal '72 si occupa di un progetto di analisi di segnali acustici e di sviluppo di un modello con cui sia possibile descrivere e generare i suoni base dei linguaggi indo-europei.

Un primo passo fu nel riscontrare la possibilità di ridurre la forma d'onda del suono della vocale "a" alla semplice forma di un impulso \sin^2 . Venne quindi sviluppato il modello VOSIM (voice simulation) per la generazione di suoni la cui forma d'onda consiste in una serie di N impulsi \sin^2 , di uguale durata T, di ampiezza decrescente. L'ampiezza di ogni impulso \sin^2 è inferiore a quella dell'impulso precedente secondo un fattore b. Il suono viene così caratterizzato dalle variabili: A (ampiezza del 1° impulso \sin^2), b (coefficiente di attenuazione), T e Ω , periodo e pulsazione di ogni impulso \sin^2 ($\Omega = 2\pi/T$).

Questo costituisce un modello VOSIM base. Esso si completa con ulteriori parametri che tengono conto delle variazioni dei parametri base nel tempo e servono ad introdurre modulazioni o aleatorietà.

Esistono le formule per il passaggio dai parametri del modello VOSIM base alla rappresentazione in frequenza.

Non esistono, o non sono state trovate, formule analoghe per il passaggio dalla rappresentazione in frequenze ai parametri VOSIM. Inoltre in generale a ciascuna rappresentazione in frequenza non corrisponde una rappresentazione con i parametri VOSIM.

Fra le varie rappresentazioni dei suoni, quella in frequenza è la più diffusa e significativa per le proprietà della percezione dell'orecchio, che funziona infatti come analizzatore di spettro.

Lo scopo che ci proponiamo sarà quindi di trovare i parametri VOSIM di un suono il più simile possibile ad un suono di cui sia nota la rappresentazione in frequenza. Così sarà possibile generare un suono, di caratteristiche spettrali volute, con l'oscillatore VOSIM, nonché avere una descrizione in termini di questo modello.

MODELLO VOSIM

La funzione nel tempo $s(t)$ di un segnale VOSIM è così il prodotto di un segnale sinusoidale $p(t)$ e di un segnale a gradini $f(t)$

$$\begin{aligned} s(t) &= p(t) \cdot f(t) \\ \text{con} \quad f(t) &= u(t) - b^{N-1} u(t-N\tau) + (b-1) \sum_{n=1}^{N-1} b^{n+1} u(t-n\tau) \\ p(t) &= \sin^2(2\Omega t) \end{aligned}$$

$$u(t) = \begin{cases} 1 & \text{se } t \geq 0 \\ 0 & \text{se } t < 0 \end{cases}$$

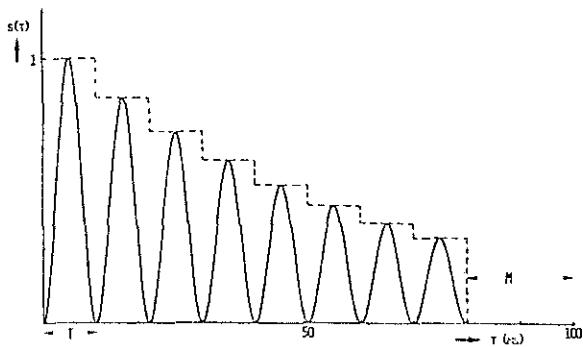


fig. 1

In fig. 1 è rappresentata la forma d'onda di un regime VOSIM con $N = 8$, $b = 0.85$, $T = 10$ ms. L'ampiezza del 1° impulso è stata posta uguale a 1.

Lo spettro in frequenza del segnale non ripetuto viene calcolato applicando la trasformata di Fourier del segnale nel tempo. Sviluppando i calcoli [Tempestaars 1977] si ottiene:

$$\begin{aligned} \text{con} \quad |S(\omega)| &= \frac{\sin \pi \frac{\omega}{\Omega}}{\omega \left(\frac{\omega^2}{\Omega^2} - 1 \right)} \sqrt{\frac{1 - 2b^N \cos 2\pi N \frac{\omega}{\Omega} + b^{2N}}{1 - 2b \cos 2\pi \frac{\omega}{\Omega} + b^2}} \\ |S(\omega)| &= \frac{1}{2} T \frac{1 - b^N}{1 - b} \quad \text{se } b \neq 1 \\ |S(\omega)| &= \frac{1}{2} TN \quad \text{se } b = 1 \end{aligned}$$

$$|S(\Omega)| = \begin{cases} \frac{1}{4} T \frac{1-b^N}{1-b} & \text{se } b \neq 1 \\ \frac{1}{4} TN & \text{se } b = 1 \end{cases}$$

$$\phi(\omega) = \operatorname{tg}^{-1} \frac{(1+b) \operatorname{sen} \frac{\omega}{\Omega} - b^N \operatorname{sen}(2N+1)\pi \frac{\omega}{\Omega} + b^{N+1} \operatorname{sen}(2N-1)\pi \frac{\omega}{\Omega}}{(b-1) \operatorname{cos} \frac{\omega}{\Omega} + b^N \operatorname{cos}(2N+1)\pi \frac{\omega}{\Omega} - b^{N+1} \operatorname{cos}(2N-1)\pi \frac{\omega}{\Omega}}$$

In figura 2 viene riportato lo spettro di una forma d'onda con $N=8$ e $b=0.85$. La scala della pulsazione è calcolata per il segnale con $T=10$ ms di fig. 1.

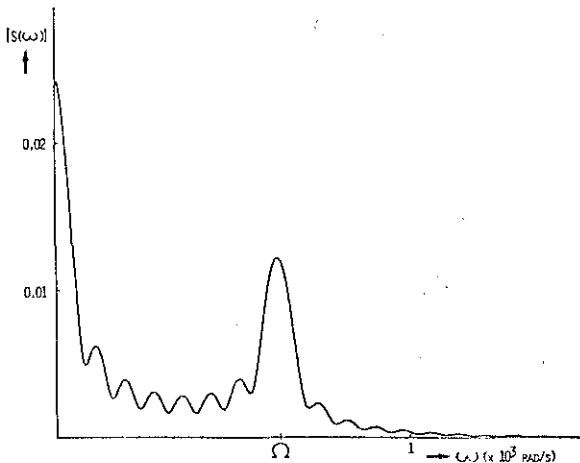


fig. 2

Quando il segnale viene ripetuto nel tempo con periodo $T' > NT$, vengono calcolati i coefficienti di ampiezza delle armoniche $C_n = \frac{2}{T'} |S(n\omega')|$ con $\omega' = \frac{2\pi}{T'}$. Posto $\gamma = T/T'$ risulta

$$C_n = \left| \frac{\operatorname{sen} \pi n \gamma}{\pi n (\gamma^2 - 1)} \right| \sqrt{\frac{1 - 2b^N \cos 2\pi n \gamma + b^{2N}}{1 - 2b \cos 2\pi n \gamma + b^2}}$$

Quando $n = 1/\gamma$

$$C_n = \begin{cases} \frac{1}{2} \gamma \frac{1-b^N}{1-b} & \text{se } b \neq 1 \\ \frac{1}{2} \gamma N & \text{se } b = 1 \end{cases}$$

Inoltre

$$C_0 = \begin{cases} \gamma \frac{1-b^N}{1-b} & \text{se } b \neq 1 \\ \gamma N & \text{se } b = 1 \end{cases}$$

La formula si semplifica notevolmente nei casi particolari

$$N = 1 \quad C_n = \left| \frac{\sin \pi n \gamma}{\pi n(n^2 \gamma^2 - 1)} \right|$$

$$b = 1 \quad C_n = \left| \frac{\sin \pi N n \gamma}{\pi n(n^2 \gamma^2 - 1)} \right|$$

In figura 3 viene illustrato lo spettro di un segnale periodico con $T' = 10 T$ essendo $N = 8$, $b = 0.85$. E' stato tratteggiato il modulo dello spettro del segnale non periodico dopo aver modificato opportunamente la scala.

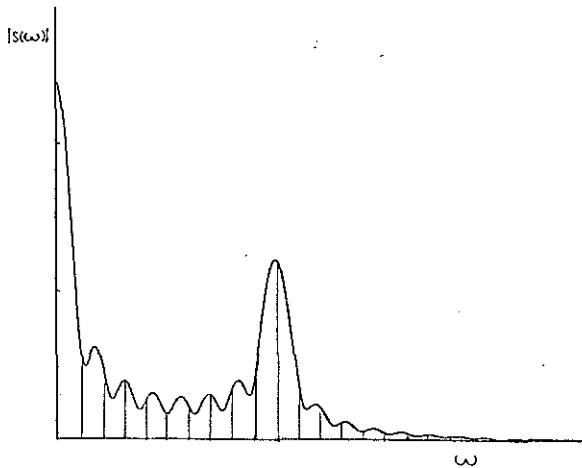


fig. 3

Si noti che lo spettro esibisce un picco corrispondente alla frequenza degli impulsi \sin^2 e che lo spettro non dipende dalla frequenza del suono, ma solo dal rapporto γ .

Così si riesce a passare da una descrizione del suono mediante i parametri VOSIM ad una descrizione in frequenza.

La fase di ogni armonica viene ottenuta con

$$\phi_n = \arctg \frac{\text{Im}(S(n\omega'))}{\text{Re}(S(n\omega'))}$$

Non viene qui ulteriormente considerato, perché il suo effetto percettivo è trascurabile [Helmutz].

Un suono vibrato, modulato, un rumore, può essere descritto oltre che dai parametri T, N , ampiezza e γ , da altre variabili che descrivono una possibile modulazione dell'intervallo di tempo (M) tra una serie di impulsi e l'altra, e i possibili incrementi e decrementi di T, M, A .

E' stato ricontrato sia sperimentalmente che teoricamente, che due funzioni VOSIM possono simulare i suoni di probabilmente tutte le lingue indoeuropee [KAEGI 1973, 1974]. Kaegi e Tempelaars [1978] presentano come esempi i valori dei parametri che possono descrivere lo sviluppo nel tempo dei suoni della voce a, di alcune sillabe, di un clarinetto, di un clavicembalo ecc. Unendo più serie di valori si possono descrivere sequenze diverse di suoni.

OSSERVAZIONI SUL SEGNALE VOSIM

La formula che dà lo spettro del segnale VOSIM può essere considerata come composta di due parti: S_1 , comprendente il termine sinusoidale, e S_2 , il termine sotto radice.

S_2 è simmetrica tra 0 e Ω rispetto $\Omega/2$, e periodica con periodo Ω . Essa dipende dai valori di b : per $b=0$ il suo valore è costante, per b crescente da 0 ad 1 la sua parte centrale diminuisce via via d'ampiezza mentre aumentano i valori laterali. Per $b > 1$, l'ampiezza nel tempo degli impulsi \sin^2 è crescente nel tempo. Invertendo la direzione dell'asse dei tempi si ottiene un segnale con $b' = 1/b$ e con ampiezza aumentata di un fattore b^{N-1} rispetto al precedente. Quindi lo spettro dei due segnali differisce solo per questo fattore moltiplicativo ma non per la forma.

L'influenza di N sul termine della radice consiste nel produrre N oscillazioni maggiormente marcate per valori di b prossimi a 1. In figura 4 è rappresentato l'andamento di S_2 per $b=0.8$ e $N=5$.

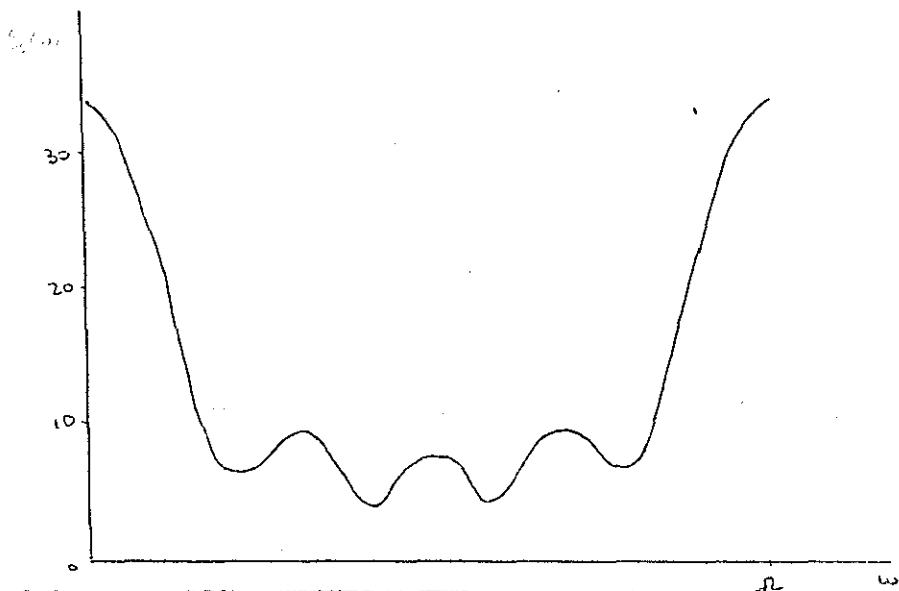


fig. 4

S_1 è una funzione decrescente a partire da un valore massimo assunto nel punto $\omega = 0$ fino ad annullarsi nel punto $\omega = 2\Omega$. Prosegue con andamento oscillatorio annullandosi per $\omega = k$ con $k = 3, 4, 5$ e con valori massimi via via decrescenti con l'inverso della terza potenza di ω . In fig. 5 è rappresentato l'andamento di $S_1(\omega)$.

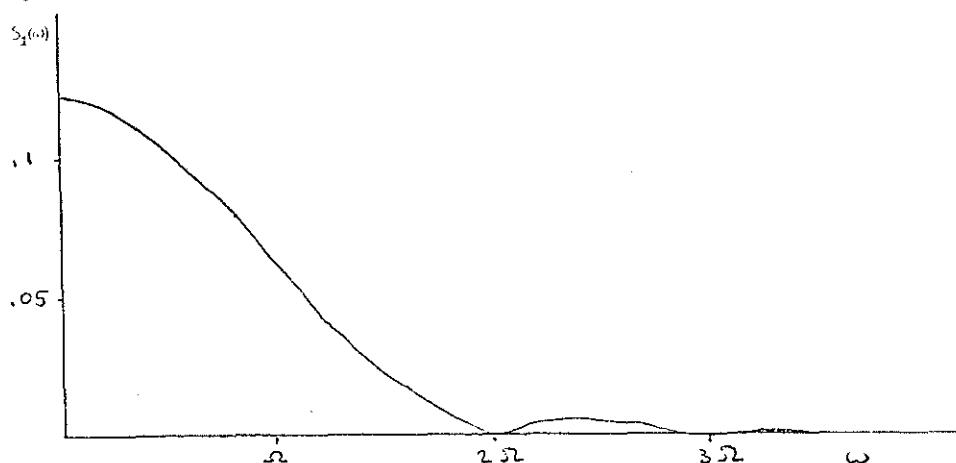


fig. 5

Valgono le seguenti relazioni:

$$S_1\left(\frac{\Omega}{2}\right) = 8/(3\Omega)$$

$$S_1\left(\frac{3}{2}\Omega\right) = 8/(3 \cdot 5 \cdot \Omega)$$

$$S_1(5\Omega/2) = 8/(3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot \Omega)$$

Si confronti con $S_1(\Omega) = \frac{\pi}{2\Omega}$ e $S_1(0) = \frac{\pi}{\Omega}$.

Per cui questa parte, che fa decrescere le ampiezze delle armoniche al crescere di ω , porta ad una diminuzione di 14 dB da $\omega = \Omega/2$ a $\omega = 3\Omega/2$, di ulteriori 16 dB per $\omega = 5\Omega/2$. Si osservi che questo primo termine non dipende né da b , né da N e che $S_1(\Omega) = S_1(0)/2$ sempre. Questa proprietà vale anche per $S(\omega)$ e caratterizza lo spettro VOSIM.

RAPPRESENTAZIONE NELLO SPAZIO DELLE ARMONICHE

Per ottenere una rappresentazione in frequenza, indipendente dalla frequenza fondamentale, un suono è descritto dall'ampiezza delle sue armoniche e quindi da una n-pla di valori. Se il suono è rigorosamente periodico esso è rappresentato da un punto nello spazio delle armoniche. Se il suono è quasi periodico, questa rappresentazione vale per ogni periodo. Il suono è quindi rappresentato da un punto che si muove nello spazio delle armoniche.

Una prima semplificazione può essere la normalizzazione delle ampiezze delle singole armoniche rispetto al valore efficace, per eliminare l'effetto dell'inviluppo generale di ampiezza.

Un suono quindi a spettro costante, ma con modulazioni di ampiezza, che verrebbe rappresentato su una retta nello spazio delle armoniche, se viene normalizzato, viene rappresentato con un punto. Se lo spettro varia da periodo a periodo, il punto descrive una traiettoria su una ipersfera sempre nello spazio delle armoniche. Infatti la distanza euclidea del punto dall'origine rappresenta il valore efficace.

Se il suono è sufficientemente periodico esso può venire riprodotto abbastanza bene mediante un oscillatore il cui spettro corrisponde allo spettro medio del suono nel tempo. L'assunzione dello spettro medio come parametro più importante per la descrizione di un suono è suffragata anche dagli studi di Grey e di Wessel sulla percezione dei timbri [CREY (1979, WESSEL 1973, 1978)]. Essi trovano infatti come dimensione principale dello spazio dei timbri, la brillanzezza che viene definita sulle caratteristiche dello spettro medio.

Se le caratteristiche del suono variano considerevolmente nel tempo la descrizione con lo spettro medio complessivo è insufficiente. Si procederà all'identificazione del suono nei punti più significativi e alla sua interpolazione nello spazio VOSIM.

DESCRIZIONE DEL METODO

Lo scopo di questo lavoro consiste nel trovare i parametri VOSIM che descrivano un suono, il più simile possibile ad uno di cui sia dato lo spettro.

Non esistendo un algoritmo diretto di analisi si è deciso di usare un algoritmo di ottimizzazione.

Per impiegare questo metodo è necessario definire una funzione che misuri la somiglianza tra il suono da imitare e il suono VOSIM. Questa funzione deve essere di discesa per l'algoritmo. Si è scelto di misurare la distanza tra i due suoni nello spazio normalizzato delle armoniche. L'ampiezza di ogni armonica viene misurata in decibel, per tener conto delle proprietà percettive dell'orecchio.

Detta d_i la differenza tra l'ampiezza, in decibel, dell' i -esima armonica dei due suoni in paragone, sono state considerate le seguenti distanze complessive

$$D_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |d_i| \quad \text{distanza media}$$

$$D_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^m d_i^2} \quad \text{distanza euclidea}$$

$$D_\infty = \max\{|d_i|\} \quad \text{distanza di Chebyshev}$$

Si osservi che le prime due distanze danno un'approssimazione globale, consentendo però grandi differenze tra i valori di qualche armonica, mentre l'ultima tende a rendere più simili possibili le differenze, anche se non piccole.

Il problema di ottimizzazione è chiaramente non lineare. Come metodo di ottimizzazione la scelta va fatta fra i metodi diretti, non essendo a disposizione né l'Hessiano né il gradiente. Si è optato per il metodo di Rosenbrock, che presenta buone caratteristiche di velocità e convergenza.

I parametri VOSIM da individuare sono quindi M, b, γ . Essendo N una variabile intera, non è stata inserita fra i parametri da ottimizzare. Viene fatta una approssimazione per ogni N e poi vengono confrontati i risultati. Se un suono ha $b > 1$ il suo spettro normalizzato è uguale a quello di un suono con $b^* = 1/b$; ciò corrisponde, come visto, ad un'inversione dell'asse dei tempi. Per diminui-

re quindi i calcoli, è sufficiente considerare valori di b inferiori od uguali ad 1. Per quanto riguarda γ , esiste la limitazione che $T' > N \cdot T$ e cioè $1/\gamma > N$, $\gamma < \frac{1}{N}$. Per tener conto di queste limitazioni si è ricorso al metodo di penalità, che consiste nell'introdurre nella funzione di discesa un addendo rapidamente crescente se si viola un vincolo.

Lo spettro VOSIM è non limitato, sebbene oltre un certo limite le armoniche possono essere trascurate. Generalmente del suono da approssimare vengono date le armoniche più significative. Conducendo il confronto solo su queste armoniche, può succedere che vi siano grandi differenze nelle armoniche non considerate. Si sogna quindi imporre che le ulteriori armoniche abbiano piccola ampiezza.

A questo scopo alle armoniche date si aggiunge una coda di circa altrettante armoniche di ampiezza decrescente con la terza potenza a partire dal valore dell'ultima armonica data. E' infatti questo l'andamento dello spettro VOSIM dopo il formante. Un altro metodo adottato, che ha dato buoni risultati, consiste nel porre vincoli su γ in modo che il formante resti fra le armoniche che si considerano. Questo è stato ottenuto imponendo che $\frac{1}{\gamma} > m$, ove m è il numero delle armoniche considerate.

E' stato inoltre imposto all'ampiezza delle armoniche un valore di soglia inferiore per evitare di calcolare differenze tra valori a bassissimo livello e quindi poco significativi.

Poichè $1/\gamma$ determina la posizione del formante, si è considerata come variabile da ottimizzare $\alpha = 1/\gamma$ per dare maggior rispondenza fisica agli incrementi della variabile durante il processo di ottimizzazione.

La funzione da ottimizzare tenendo conto di tutti i vincoli è quindi:

$$f(\alpha, b) = D + K_1 [\max(0, N-\alpha)]^2 + \\ + K_2 [\max(0, \alpha-m)]^2 + K_3 [\max(0, b-1)]^2$$

dove D è una delle distanze sopra indicate, K_1 , K_2 , K_3 opportune costanti. Varie considerazioni sul valore della penalità e sulla velocità di calcolo hanno condotto ad adottare i seguenti valori: $K_1 = 10^3$, $K_2 = 10^2$, $K_3 = 10^4$.

I valori degli incrementi iniziali sugli assi coordinati influenzano notevolmente la velocità di convergenza. Dopo varie prove effettuate i valori che hanno permesso di giungere rapidamente a dei risultati migliori sono $\Delta\alpha = 1$, $\Delta b = .08$.

Nella scelta dell'epsilon per il criterio di convergenza, occorre stimare l'ordine di grandezza del minimo della funzione al fine di rendere realmente ef-

ficace il criterio, basato sulla distanza dall'approssimazione precedente sempre in termini del valore della funzione. Per approssimazione di suoni tipo VOSIM, le prove condotte consigliano di assumere il valore $\epsilon = 0.02$; per suoni generici una approssimazione sufficiente può essere ottenuta anche con $\epsilon = 0.5$.

Piccole variazioni di b non determinano grandi variazioni dello spettro, quindi la scelta del b iniziale non è critica.

Conviene ricordare comunque che per b piccoli lo spettro è più piatto, mentre per b prossimi a uno le armoniche intermedie tra l'origine e il formante hanno ampiezza notevolmente inferiore a quella del formante.

Il parametro α determina la posizione del formante e quindi influenza molto la forma dello spettro. Una stima del suo valore iniziale può essere fatta cercando di individuare la posizione del formante e ponendo α iniziale uguale al numero dell'armonica in cui si presenta.

RISULTATI E CONCLUSIONI

La taratura del metodo è stata fatta cercando di identificare suoni VOSIM troncati e non troncati. In figura 6 è riportato l'andamento dei vari passi durante il processo di identificazione di un suono con $b = 0.85$, $\gamma = 0.0121$, $N = 3$ a partire da valori $b = 0.75$ e $\gamma = 0.0167$. In fig. 7 con $b = 0.05$, $\gamma = 0.300$, $N = 3$

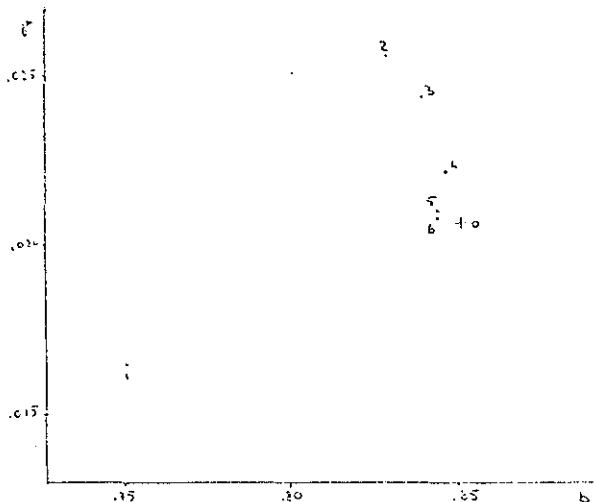


fig. 6

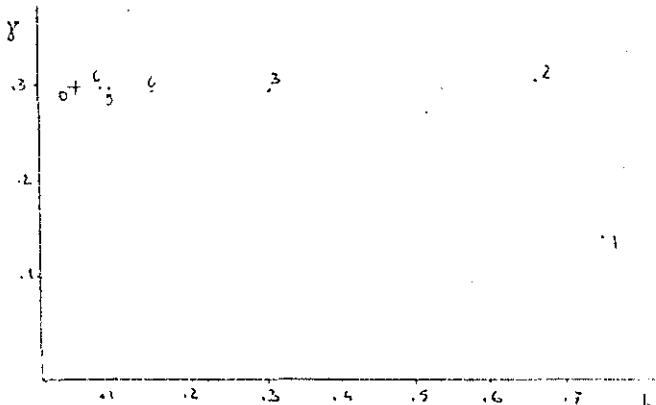


fig. 7

troncato alla decima armonica, a partire dai valori $b = 0.75$ e $\gamma = 0.143$ utilizzando la distanza media. Il suono ottimizzato ha $b = 0.08$, $\gamma = 0.300$ e $N = 3$. Le prove effettuate con le altre distanze danno risultati analoghi.

Analizziamo l'identificazione di un suono VOSIM con $b = .85$, $\gamma = .125$, $N = 3$ con le tre distanze. In figura 8 vengono riportati gli spettri del suono da identificare e dei tre suoni ottenuti. In queste esempi i suoni ottenuti con la distanza media ed euclidea praticamente coincidono con il suono da imitare (—). Quello di Chebyshev (....) si differenzia molto poco.

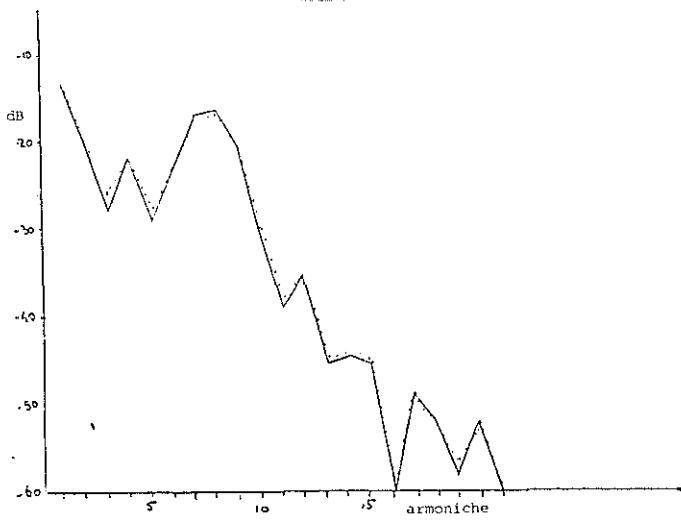
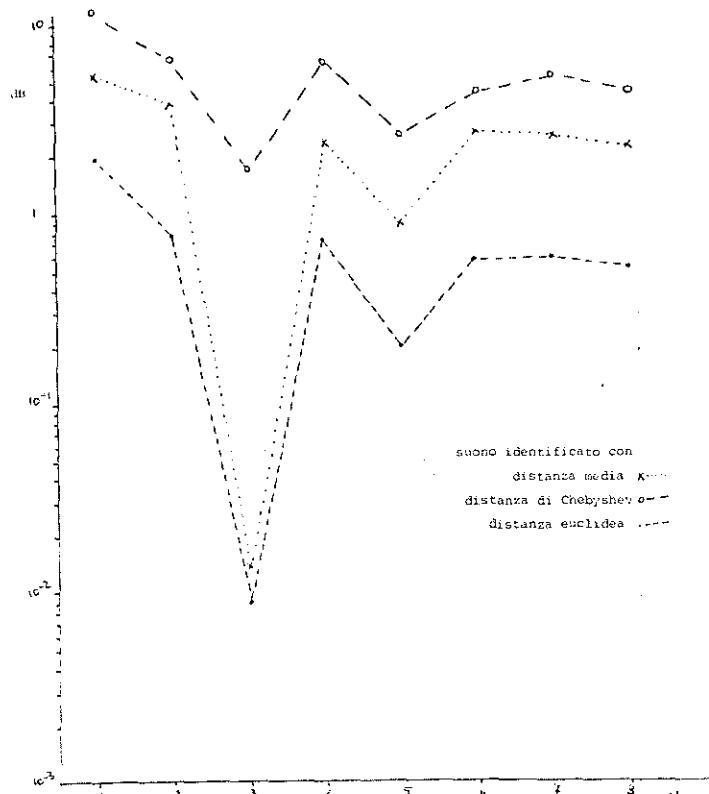


fig. 8

In fig. 9 è riportato l'andamento delle distanze dei suoni identificati per i valori di N . Si osserva un minimo assoluto evidente in corrispondenza del valore esatto di N . Questo permette quindi fra le varie ottimizzazioni di scegliere subito quella corretta.



Nelle figure 10 e 11 sono riportati i valori di γ e di b per le ottimizzazioni con le tre distanze per le diverse N . Si può notare che l'identificazione di γ è praticamente indipendente da N . Questo suggerisce di stimare il valore di $\alpha = 1/\gamma$ per alcuni valori di N e di procedere all'identificazione solo per i valori di N minori o uguali al valore di α stimato. Nel caso $N=1$ scompare il caratteristico formante VOSIM e quindi il parametro più significativo per la stima di α . Convien quindi fare la stima di α per $N=2$ e/o 3.

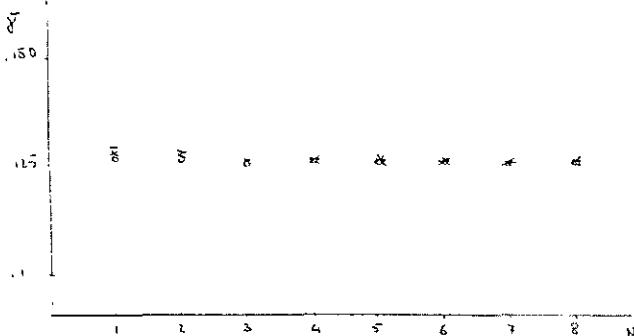


fig. 10

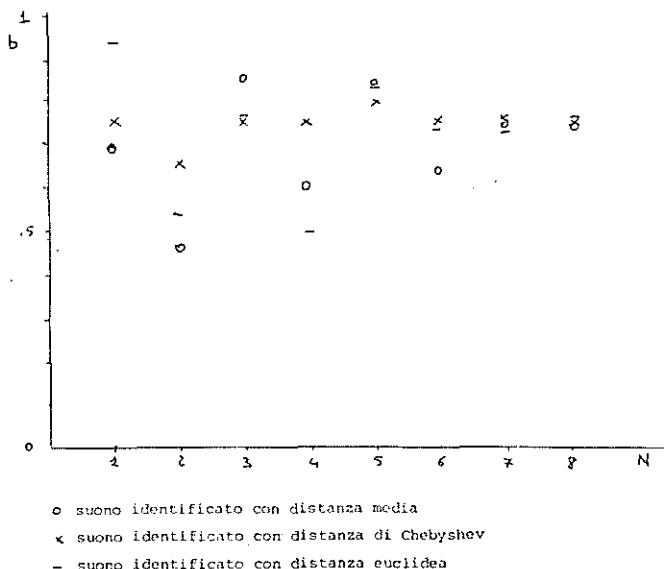


fig. 11

Nelle figure 12a,b,c sono riportati gli spettri dei suoni identificati per le diverse N con la distanza di Chebyshev. Si confronti lo spettro del suono e quello identificato con la distanza di Chebyshev con $N=3$ nella figura 8. Con le altre distanze si sono ottenuti spettri simili.

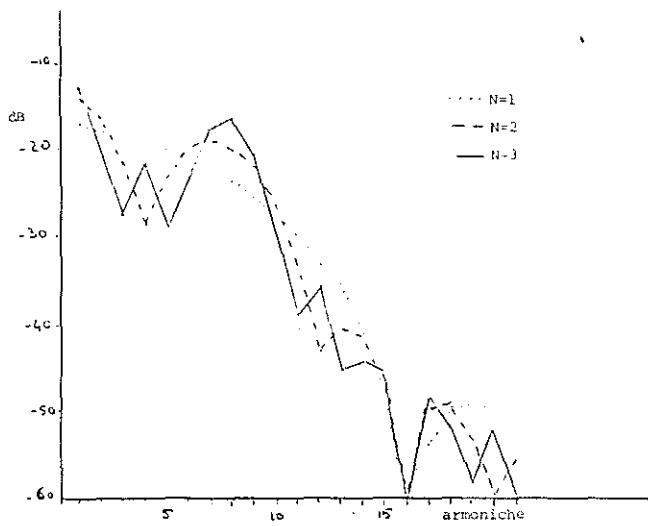


fig. 12a

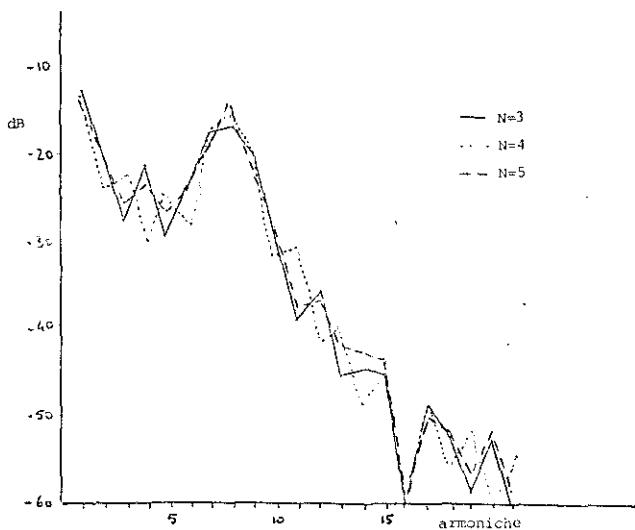


fig. 12b

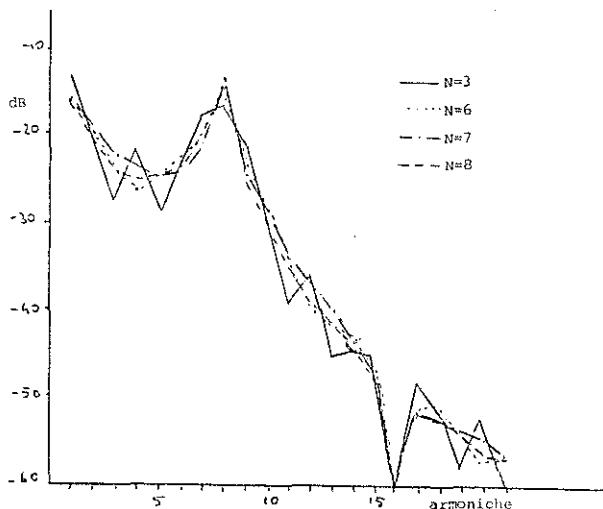


fig. 12c

Sono state effettuate prove con suoni VOSIM perturbati, cioè variando aleatoriamente del 10% l'ampiezza delle armoniche. Il procedimento di identificazione funziona correttamente; in questo caso la distanza di Chebishev porta all'identificazione del suono originario, come era da attendersi, e le altre a valori vicini. Es.

Suono originario	$b = 0.85$	$\gamma = 0.120$	$N = 3$
ottimizzato con distanza media	$b = 0.93$	$\gamma = 0.121$	$N = 3$
con distanza di Chebyshev	$b = 0.85$	$\gamma = 0.120$	$N = 3$
con distanza euclidea	$b = 0.86$	$\gamma = 0.121$	$N = 3$

Si noti che tutte e tre le distanze trovano lo stesso γ , che è il parametro che più caratterizza lo spettro.

Affinché un suono non di tipo VOSIM possa essere approssimato, uno deve presentare un solo formante e poi l'ampiezza delle armoniche deve decadere rapidamente. Non è infatti pensabile approssimare con un solo oscillatore VOSIM suoni totalmente differenti.

In figura 13 sono riportati i risultati dell'identificazione del suono di una trombetta con le tre distanze. Le prove d'ascolto dimostrano la similitudine dei suoni, pur differenziandosi dal suono da approssimare.

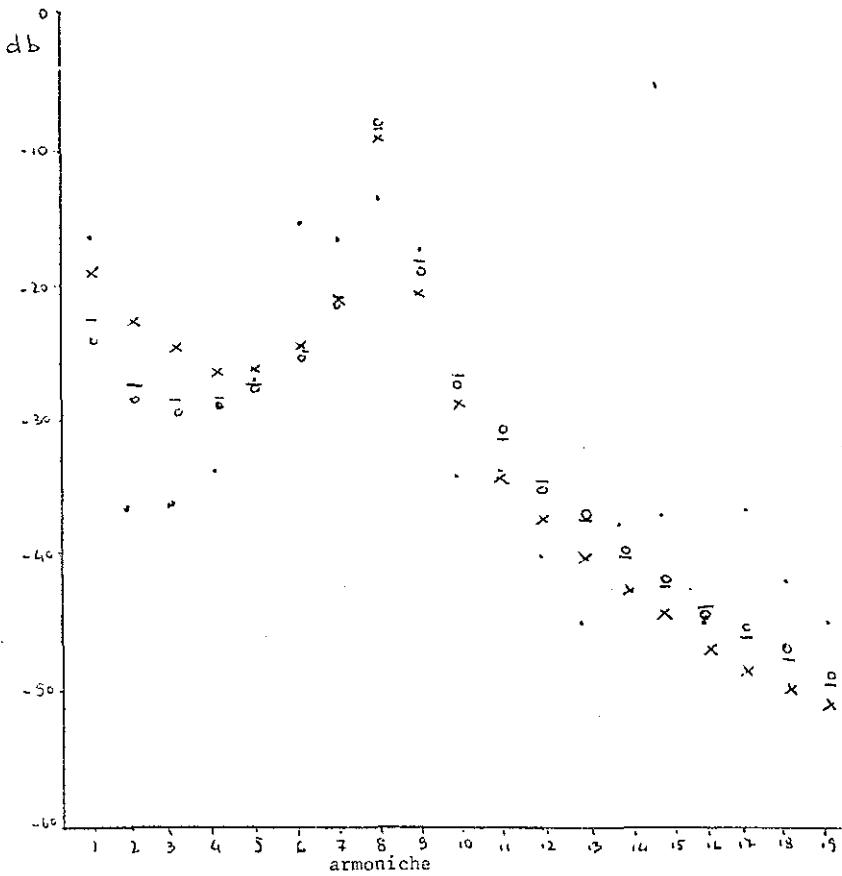


fig. 13

In tutte le considerazioni finora fatte si è cercato di identificare la forma d'onda in generale dell'oscillatore VOSIM. Visto che questa non dipende dalla frequenza, le distanze sono state scelte anch'esse non dipendenti dalla frequenza per non perdere le caratteristiche delle generalità. Introducendo anche questo parametro è possibile definire delle distanze che tengono meglio conto delle proprietà percettive dell'orecchio, dipendenti però dalla frequenza, come ad esempio banda critica e mascheramento. Si possono ottenere così suoni diver-

si perde a quella frequenza percettivamente più simili al suono da imitare. Resta quindi da indagare su questo aspetto, nonché sul significato percettivo delle distanze considerate misurate nello spazio delle armoniche.

RIFERIMENTI

- EHRESMAN D.E., WESSEL D.L. (1978): "Perception of Timbral Analogies", Rapporto IRCAM 13/78.
- GREY J.M. (1975): "An exploration of musical timbre"; Ph.D. dissert., Dept. of Music Rep. N. STAN-M-2, Stanford University.
- HELMOTZ M. (1868): "Théorie physiologique de la Musique", ed. Masson Parigi.
- KAEGI W. (1973): "A Minimum Description of the Linguistic Sign Repertoire (part 1)", Interface vol. 2, pp. 141-156.
- KAEGI W. (1974): "A Minimum Description of the Linguistic Sign Repertoire (part 2)", Interface vol. 3, pp. 132-158.
- KAEGI W., TEMPELAARS S. (1978): "VOSIM - A New Sound Synthesis System", J. Audio Eng. Soc., vol. 26, n. 6, pp. 418-424.
- ROSENBROCK H.H. (1960): "An Automatic method for binding the greatest or least value of a function", Computer J., vol. 3, p. 175.
- TEMPELAARS S. (1976): "The VOSIM Signal Spectrum", Interface, vol. 6, pp. 81 - 96.
- WESSEL D.L. (1973): "Psychoacoustics and Music: A report from Michigan State University", PAGE: Bulletin of the Computer Arts Society, vol. 30.

TRASFORMAZIONE DI TESTI MUSICALI PER MEZZO DI OPERATORI^{*}

Goffredo Haus^{oo}

Abstract

I testi musicali possono essere descritti per mezzo di due elementi fondamentali: il materiale di base (oggetti sonori elementari) ed una struttura formata da funzioni definite sul materiale stesso; ogni elemento della struttura è o un oggetto sonoro elementare oppure un operatore. Descrivendo un testo musicale in questa forma (materiale di base e struttura) è possibile ottenere nuovi testi musicali (con caratteristiche strutturali pressoché identiche a quelle del testo dato) alterando la descrizione del testo in qualche elemento del materiale di base e/o della struttura ad esso associata. I nuovi testi così ottenuti potranno poi essere ritoccati (corretti), o per mezzo di un correttore sintattico automatico o per mezzo di correzioni manuali, dagli eventuali errori prodotti con l'espansione dei nuovi operatori introdotti con le alterazioni del testo.

Introduzione

In un precedente articolo (Bertoni ed al., 1978) abbiamo visto come sia possibile descrivere sequenze di parametri musicali per mezzo di strumenti formali che abbiamo chiamato processori.

L'obiettivo del presente lavoro è di definire una metodologia per la trasformazione di testi musicali a partire dalla descrizione in forma di processore. In altre parole vogliamo ottenere da un testo dato nuovi testi che mantengano le caratteristiche strutturali del testo di partenza mediante modifiche a qualche elemento del processore.

La metodologia che proponiamo è perciò rivolta a produrre nuovi

^{oo} Istituto di Cibernetica, Università di Milano

testi nella forma di testi preesistenti ed anche ad aiutare il compositore nel momento della formazione delle strutture musicali che descrive con la notazione operatoriale.

Rappresentazione di testi musicali per mezzo di operatori

E' ora opportuno richiamare brevemente cosa si intende per operatore e come si può utilizzare questo concetto nella descrizione di testi musicali.

Nel senso più generale, intendiamo per operatore uno strumento formale che permette di produrre strutture musicali a partire da altre strutture musicali date.

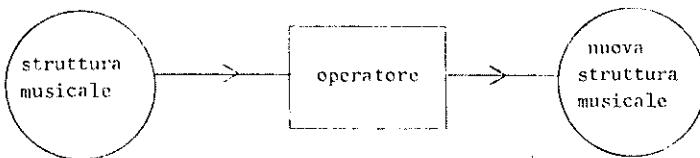


Fig. 1

Un esempio elementare di operatore è la trasformazione di una sequenza in un'altra sequenza di uguale dimensione. Nella letteratura musicale si incontrano usualmente trasformazioni di questo tipo quali la trasposizione di altezze, la retrogradazione di altezze, la ripetizione di figure ritmiche, etc.

Tra questi si possono distinguere operatori che modificano i valori di cui le sequenze sono costituite da operatori che modificano le "posizioni" (orizzontalmente e/o verticalmente)^{oo} degli elementi delle sequenze (e più in generale di qualunque struttura).

^{oo} "posizione" temporale (sequenze orizzontali) o "posizione" spaziale (sequenze verticali)

Un esempio di questa distinzione può essere rappresentato, se ci si riferisce a sequenze di altezze, dagli operatori che producono la trasposizione o la retrogradazione di melodie: il primo altera i valori delle altezze, il secondo rovescia l'ordine dei valori all'interno della melodia.

In generale, un operatore si esprime formalmente con quattro parametri: nome, grado, indirizzo della struttura di partenza, dimensione della struttura; il nome ed il grado identificano la funzione dello operatore. Ad esempio la trasposizione di una melodia di una quinta sopra può essere indicata con $T_7(i,\ell)$ dove 7 è il numero di semitonni di cui si aumenta la melodia, i è la posizione nel testo della prima nota della melodia che si traspone, ℓ è la lunghezza della melodia ovvero il numero di note^{oo}.

Da un punto di vista più formale gli operatori che si possono definire su strutture musicali possono essere classificati a seconda degli insiemi su cui sono definiti e/o degli insiemi su cui sono a valori.

La descrizione di testi musicali con notazione operatoriale può essere tanto il risultato di una analisi di testi dati quanto la notazione con cui un compositore descrive più sinteticamente ed in forma più astratta (più vicina quindi all' "idea" stessa del compositore); sarà quindi possibile seguire i cammini del seguente grafo. Un testo descritto in forma operatoriale è banalmente riconducibile alla forma espansa di sequenza di valori (sia essa un pentagramma o una sequenza di valori numerici) calcolando i valori di tutti gli operatori del testo, dal livello di astrazione più alto al livello di maggiore dettaglio.

^{oo} codifichiamo le altezze di otto ottave divise per semitonni con i valori interi da 1 a 96; il grado degli operatori, ove presente, sarà sempre indicato con un numero positivo; cioè, ad esempio, l'abbassamento di un'ottava sarà indicato con l'operatore T_{84} , piuttosto che

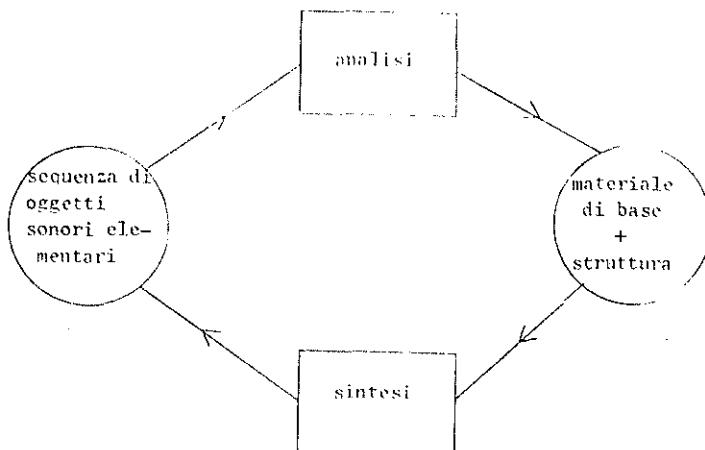


FIG. 2

Alterazioni del processore

Un testo musicale descritto in forma operatoriale può essere modificato alterando elementi del processore ad esso associato, siano oggetti sonori elementari od operatori.

Distinguiamo quattro tipi diversi di alterazioni di operatori in corrispondenza con i quattro elementi che caratterizzano un operatore:

- alterazione del nome;
- alterazione del grado;
- alterazione del puntatore;
- alterazione della dimensione.

Vediamo, ad esempio, quali effetti ha la alterazione di un elemento di un processore sul testo a cui si riferisce il processore.

Prendiamo come testo base la sequenza delle prime 63 note della sonata in la minore per flauto solo di J.S.Bach.

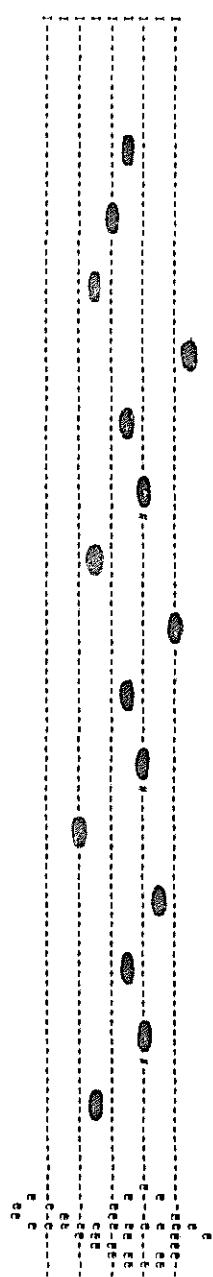
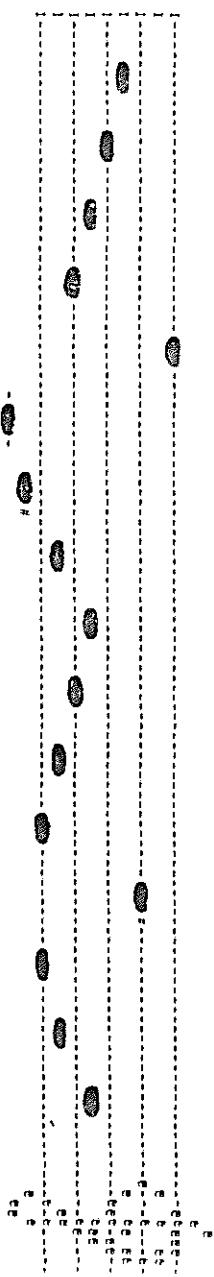
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

TESTO CRITICO

- 173 -



CODIFICA NUMERICA DEL TESTO

65 70 69 70 73 70 65 58 65 70 69 70 73 70 65 58 61 65 66 57 66 65 63 61
65 69 70 53 63 61 60 58 61 65 66 57 66 65 63 61 65 69 70 53 63 61 60 58
61 57 58 54 63 57 58 53 61 57 58 51 61 60 58

Se analizziamo questa sequenza con il solo operatore di trasposizione, trascurando di descrivere con operatori le singole note, otteniamo il seguente processore:

PROCESSORE DELLA SEQUENZA DI ALTEZZE

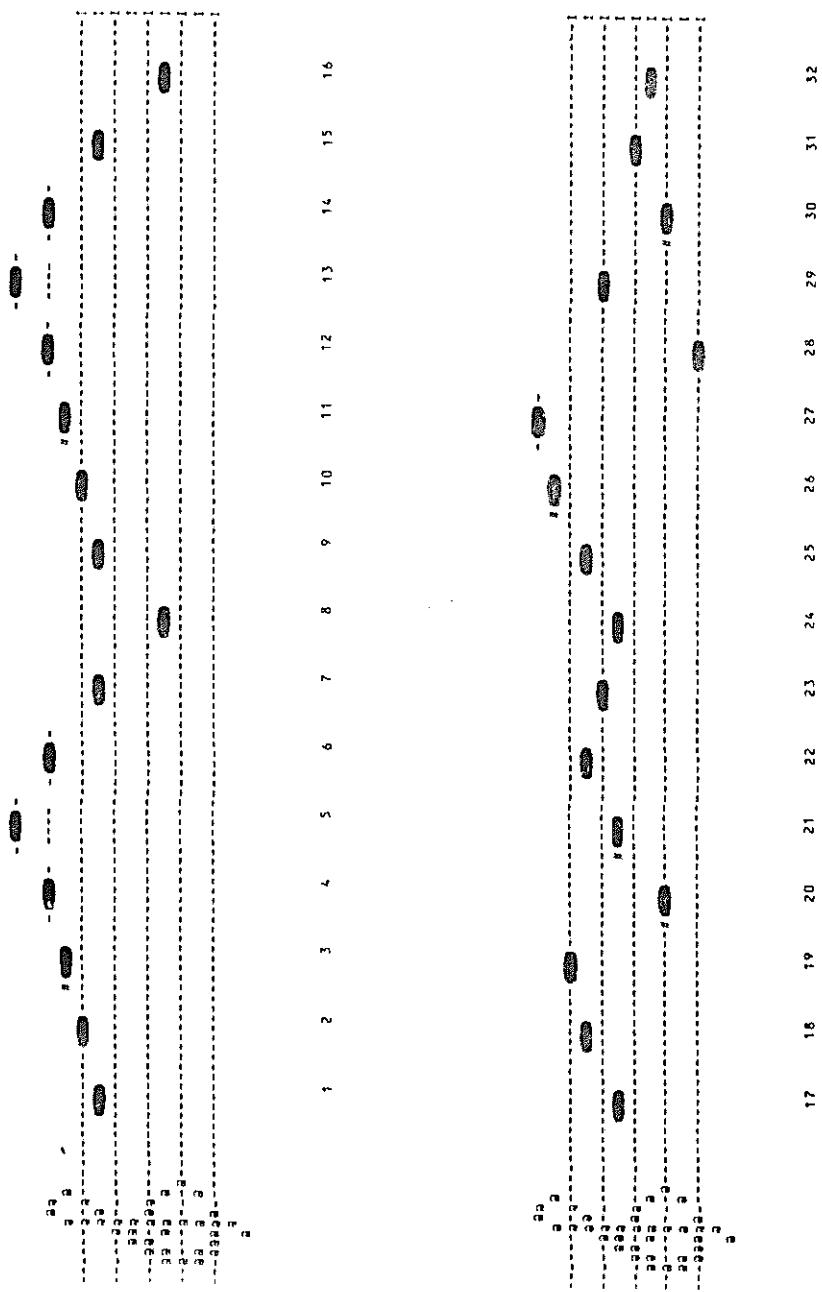
65 70 69 70 73 70 65 58 T(1,7) 84T(12,2) 92T(11,2) 57 92T(10,2) 63 61
4T(17,3) 53 63 91T(21,2) T(16,2) T(18,16) 84T(42,2) 93T(36,2) 57
84T(14,2) 3T(51,2) 89T(15,2) T(46,3)

Se ora sostituiamo il secondo elemento del processore, cioè il la (72), con un fa (66) oppure, equivalentemente, con l'operatore IT(1,1) che aumenta di un semitono la prima nota del testo otteniamo un nuovo testo in cui sono cambiate otto altezze; sono cambiate cioè tutte le altezze che nel processore sono descritte con operatori definiti o sulla altezza alterata o su altezze cambiate per la propagazione della modifica; la propagazione della modifica apportata può essere vista schematicamente con l'albero dei riferimenti dei valori di altezze modificati nel testo; i numeri dell'albero indicano la posizione d'ordine delle altezze nel testo:

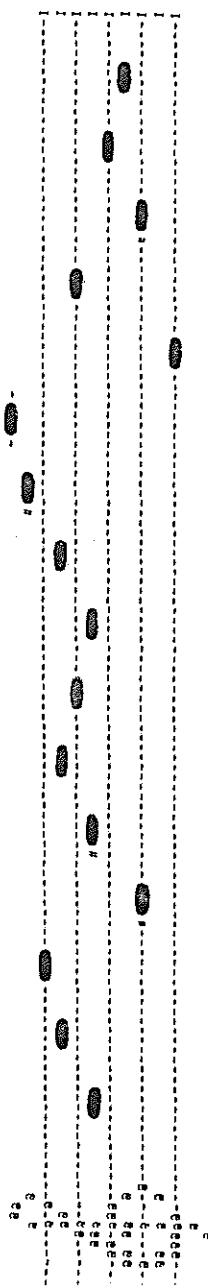


CODIFICA NUMERICA DEL NUOVO TESTO

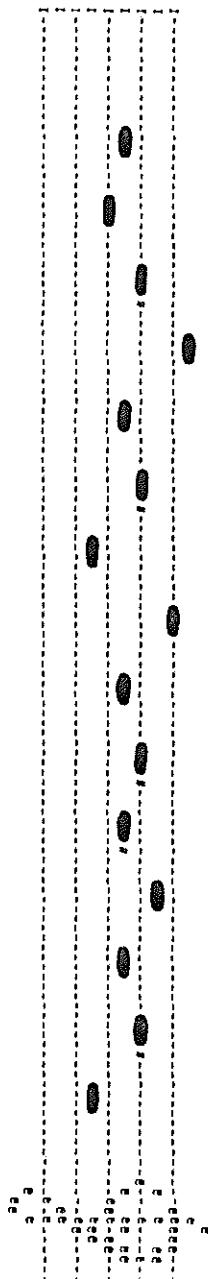
65 66 69 70 73 70 65 58 65 66 69 70 73 70 65 58 61 65 66 57 62 65 63 61
65 69 70 53 63 57 60 58 61 65 66 57 62 65 63 61 65 69 70 53 63 57 60 58
61 57 58 54 59 57 58 53 61 57 58 51 57 60 58



HUGO TESTO



33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48



49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64

Poichè la decima altezza è descritta con l'operatore $T(1,7)$ come ripetizione della seconda altezza, l'abbassamento della seconda produce un uguale abbassamento della decima; la ventunesima altezza è descritta con l'operatore $92T(10,2)$ come la diminuzione di una terza maggiore della decima altezza quindi l'abbassamento della decima produce un uguale abbassamento della ventunesima che diventerà quindi un do \natural ; e così via seguendo gli altri riferimenti sull'albero che abbiamo visto.

Dagli esperimenti di trasformazione di testi che abbiamo fatto si è visto che vi sono almeno due criteri con cui è possibile ottenere diverse trasformazioni del testo con la medesima alterazione:

- a) fissare diverse lunghezze minime delle sequenze analizzabili per la descrizione operatoriale nella costruzione del processore o comunque non utilizzare nei processori operatori definiti su sequenze di lunghezza inferiore ad un valore fisato;
- b) descrivere lo stesso testo con operatori diversi.

Il primo criterio indica chiaramente che fissare un valore minimo piccolo produce una maggiore propagazione delle modifiche e che, viceversa, fissare un valore minimo grande produce una propagazione minore delle modifiche; al limite, se si descrivono le sequenze di lunghezza 1 con operatori si avrà la massima propagazione possibile ed i nuovi testi prodotti con i processori alterati saranno molto diversi dal testo originale; se ad esempio si modificasse, in una sequenza di altezze, il solo valore della prima nota, si trasporrebbe tutto il testo di tanti semitonni quanti sarebbero i semitonni di differenza tra la prima nota del testo originale e la nuova prima nota; se al contrario si fissa un valore di lunghezza minima tale per cui il processore risulta costituito solo dagli elementi della sequenza di partenza (non si individuano cioè operatori) non si avrà alcuna propagazione.

Il fatto di descrivere un testo con un insieme di operatori piuttosto che con un altro non dà nessuna indicazione di tipo generale; a seconda delle caratteristiche proprie del testo che si considera si avranno diversi effetti trasformativi.

La Tabella 1 dà qualche indicazione sugli effetti che si possono ottenere seguendo i criteri a) e b); i dati raccolti si riferiscono ancora

alla sonata in la minore per flauto solo di J.S.Bach; la sequenza delle 63 altezze iniziali con l'operatore di trasposizione e con l'operatore composizione di retrogradazione e trasposizione per diversi valori della lunghezza minima delle sequenze descrivibili con operatori; è stata apportata sempre la stessa alterazione al processore ottenuto: il secondo elemento è stato diminuito di una terza maggiore, cioè $70 \rightarrow 66$.

OPERATORE USATO	LUNGHEZZA MINIMA	NUMERO PROPAGAZIONI	LUNGHEZZA PROCESSORE
T	1	59	28
T	2	7	28
T	3	1	33
T	tra 4 e 8	1	41
T	tra 9 e 16	0	48
T	oltre 16	0	63
RT	1	53	39
RT	2	2	39
RT	3	1	53
RT	4 e 5	0	59
RT	oltre 5	0	63

Tabella 1

Si può notare dalla Tabella 1 che con l'operatore di trasposizione si ha una propagazione maggiore, ovvero nel testo c'è un maggior numero di relazioni di trasposizione.

Si possono inoltre adottare diversi accorgimenti per cercare di localizzare le modifiche che si apportano ad un testo.

Per mantenere inalterata la parte iniziale di un testo è sufficiente non introdurre modifiche nella parte iniziale del processore poichè i riferimenti sono dati sul testo "passato".

Se viceversa si desidera conservare la parte finale del testo occorre applicare l'algoritmo di analisi in senso contrario in modo da ottenere un processore in cui i riferimenti sono dati sul testo "futuro".

Se infine si desidera apportare modifiche al testo in modo differenziato in diverse zone del testo, si dovrà dividere il testo nelle zone opportune ed associare un diverso processore ad ogni singola zona.

Nell'esempio che abbiamo visto il processore base a cui sono state apportate modifiche è stato sempre ottenuto per analisi da un testo preesistente, in cui quindi gli operatori non sono stati scelti dall'autore ma riconosciuti per mezzo dell'algoritmo di analisi; se invece si partisse da un testo nuovo descritto direttamente in forma operatoriale dallo stesso autore, si potrebbe costruire il testo per modifiche successive fino alla soddisfazione del compositore descrivendo il testo con processori invece che con pentagrammi (comunque ottenibili per sintesi dai processori).

La trasformazione di testi musicali con questo metodo evidenzia la opportunità di potere avere ripensamenti, di potere introdurre modifiche in tempi successivi, di effettuare verifiche acustiche, etc.; è opportuno insomma avere un sistema interattivo che permetta la manipolazione dei testi in tempo reale e con la massima flessibilità.

Correzioni dei testi trasformati

L'inconveniente principale del metodo proposto in questo articolo consiste nella possibilità che si formino errori sintattici nei testi trasformati, causati dalla propagazione delle alterazioni.

Non è detto infatti che il contesto in cui è inserito un operatore che viene modificato si ripeta tutte le volte che si ha un riferimento nel processore ad una nota modificata (sia essa originale o propagata);

in particolare, se il testo considerato ha più voci parallele è molto facile che si creino situazioni armoniche indesiderabili (dissonanze, quinte od ottave parallele, etc.) , (Schoenberg, 1967).

E' opportuno allora prevedere una fase di correzione di questi errori in cui sia possibile apportare i ritocchi necessari affinchè le regole sintattiche dello stile musicale in cui ci si muove siano rispettate.

In generale le correzioni necessarie riguarderanno la trasgressione di regole definite su strutture di tipo sequenziale o parallelo o matriciale, localmente o contestualmente; regole melodiche saranno definite su strutture sequenziali, regole sulla configurazione di un accordo su strutture parallele, regole su sequenze di accordi su strutture matriciali.

Nel caso di testi precisi che si vogliono trasformare e mantenere aderenti ad un certo stile sarà bene ricorrere a correzioni manuali ad hoc perchè la codifica delle regole sarebbe molto pesante e comunque ambigua; inoltre il tempo di calcolo richiesto per la verifica delle regole sarebbe altissimo.

Nel caso di nuove composizioni che seguono regole proprie dello autore che compone con la notazione operatoriale sarà utile e promettente implementare un analizzatore sintattico personale; uno strumento di questo tipo servirebbe da supporto nella delicata fase dei ritocchi della composizione.

I passi necessari per la definizione di un analizzatore sintattico personale sono:

- a) definizione formale delle regole sintattiche locali e globali "personalì" (Longo, 1978);
- b) codifica di algoritmi che identificano nei testi le eventuali trasgressioni alle regole globali;
- c) implementazione di comandi per le correzioni globali;
- d) codifica di algoritmi che identificano nei testi le eventuali

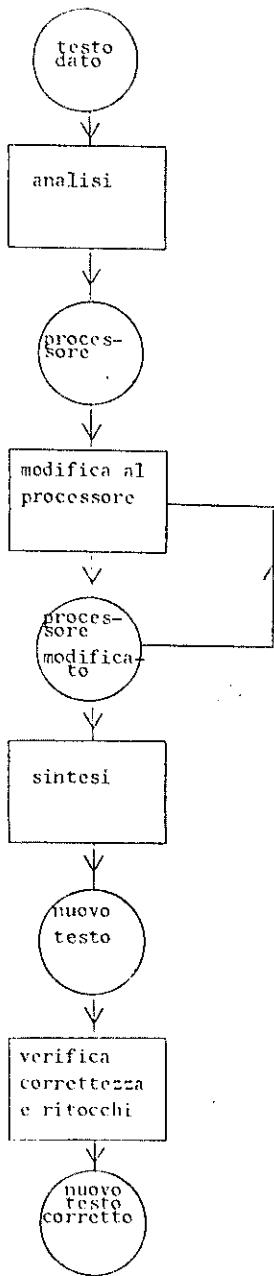


Fig. 3

li trasgressioni alle regole locali;
c) implementazione di comandi per le correzioni locali.

L'adozione di uno strumento automatico con queste caratteristiche implica uno sforzo iniziale da parte del compositore che consiste nella formalizzazione della propria sintassi ma può dare un valido aiuto aumentando sensibilmente sia la velocità che la affidabilità delle operazioni di manipolazione e di verifica dei testi che si effettuano usualmente per la composizione; è comunque suggeribile per il compositore di riservarsi la possibilità, con i comandi di cui ai punti c) ed e), di correggere o meno gli errori e di apportare, laddove si desideri, altri eventuali ritocchi ai testi in costruzione; questo per lasciare la massima flessibilità al sistema.

Prospettive

La metodologia proposta si può quindi sintetizzare con il diagramma riportato in figura 3; il passo di analisi sarà evidentemente saltato nel caso di testi costruiti ex novo o comunque dati in forma operatoriale cioè in forma di processore.

Il tipo di approccio seguito evidenzia la possibilità di ottenere quanti testi nuovi si vuole che mantengano le caratteristiche generali (la strutturazione) del testo originale; partendo semplicemente dal testo dato in forma di processore e sostituendo qualche elemento del processore; abbiamo visto che anche la sostituzione di un solo elemento può essere sufficiente.

Si possono inoltre implementare analizzatori che verifichino automaticamente le sintassi definite per i vari approcci compositivi, o comunque ritoccare arbitrariamente i testi trasformati.

Bibliografia

- A.Bertoni/G.Haus/G.Mauri/M.Torelli - "A Mathematical Model for Analysing
and Structuring Musical Texts" - Interface Vol.7 N.1:31-44
1978
- R.Lenoce - "Un linguaggio per la composizione semiautomatica di testi mu-
sicali" - Tesi di Laurea in Fisica - Università di Milano
luglio 1978
- A.Schoenberg - "Funzioni strutturali dell'armonia" - Il Saggiatore - 1967

- oo Desidero ringraziare il Prof. Giovanni Degli Antoni per i suggerimenti
e per le discussioni che sono stati determinanti per lo sviluppo del
presente lavoro.
- oo Questa ricerca è stata sviluppata nell'ambito del Communication and
Programming Project dell'Università di Milano e della Honeywell Inform-
ation Systems Italia

PRIMULA

Un Linguaggio Interattivo di PRogrammazione MUsicale
Dr. Leonello Tarabella - Div.Music. CNUCE/CNR - Pisa

Abstract

PRIMULA è un linguaggio di programmazione interattivo ad alto livello che si propone di contribuire alla diffusione della Computer Music.

PRIMULA è stato progettato seguendo la logica del Personal Computer con il proposito di risolvere il problema dell'approccio alla Computer Music soprattutto per i non iniziati: attualmente infatti i costi dei sistemi di calcolo sono molto alti, e per di più non esistono standards di software e di hardware per la elaborazione musicale.

PRIMULA è un linguaggio facile da imparare e da usare che permette di risolvere problemi personali su microcomputers di basso costo.

In più genera strutture dati che possono essere utilizzate su qualsiasi sistema di produzione acustica.

PRIMULA ha due livelli di funzionamento:

- direct : in cui produce risultati immediati mediante l'uso degli operatori primari
- programming : in cui è possibile costruire procedure via via più complesse mediante l'uso di operatori primari o di altre procedure.

PRIMULA è un linguaggio 'APL-like' e fornisce inoltre gli strumenti della programmazione strutturata.

Premessa

Di solito la descrizione e le modalità d'uso di un nuovo linguaggio o più in generale di un sistema vengono riportate alla conclusione della realizzazione.

In questo caso il PRIMULA viene presentato prima della realizzazione.

L'idea di questo lavoro nacque qualche tempo fa discutendo con Mario Milani sull'opportunità di avere un linguaggio più agevole di quelli attualmente esistenti nel campo della Computer Music.

Fui incoraggiato da lui stesso a prendermene cura e di vestirlo di appropriati contorni.

In un primo approccio doveva essere una specie di APL (o un AML come lo denominavamo) viste le caratteristiche di questo linguaggio di programmazione che ben si adattano allo scopo: interpretatività e quindi possibilità di interagire direttamente con le risorse del calcolatore e nello stesso tempo di utilizzarlo in modo 'programming' con l'attivazione di funzioni che possono essere definite via via più complesse a partire dagli operatori primari.

PRIMULA non è stato ancora realizzato per alterne vicende: esistono già comunque le specifiche ed il disegno dell'architettura per l'implementazione.

Questa memoria si presenta quindi in forma di progetto.

Stiamo assistendo ad una rivoluzione del modo di accostarsi al Computer. Fino a poco tempo fa un buon Calcolatore general purpose che avesse buone prestazioni di velocità di calcolo e risorse di memoria costava almeno qualche decina di milioni.

Il 1979 sarà per l'Europa l'anno del Personal Computer. A Milano esistono già almeno tre negozi in cui è possibile acquistarne uno.

Un Personal Computer è un piccolo appercchio che utilizza come processore centrale un chip (Z-80, Intel 8085, Mos Technology, Motorola etc.) memoria centrale fino a 64K e oltre per alcuni, linee di I/O seriale e parallele programmabili, terminali di comunicazioni, memorie di massa a cassette audio, floppy disk etc.

Il linguaggio di programmazione più usato è il Basic; in ogni modo sono disponibili anche linguaggi tipo Pascal, Fortran etc.

Alcuni nomi: Apple, Sorcerer, Horizon, Pet, Apple.

Il contorno richiesto all'acquirente è costituito semplicemente da un tavolo e la corrente di rete; il costo medio è di circa 3 ML e l'espandibilità offre la possibilità di raggiungere configurazioni soddisfacenti le esigenze particolari.

Con la comparsa sul mercato di tali apparecchiature si può pensare che dopo una fase gestazionale nei centri di ricerca, anche per la Computer Music si apra la possibilità della diffusione su larga scala.

Questo fatto è molto importante perché con essa si innescà il processo di continui rimandi di proposte e risposte caratteristico dai fenomeni che nascono dalla interazione di attività scientifica ed attività sociale.

Il PRIMULA è stato pensato per "girare" su microsistemi per contribuire alla diffusione della Computer Music e si configura come un linguaggio che può essere utilizzato in modo 'direct' col quale è possibile ottenere risultati immediati sia nella elaborazione numerica e/o simbolica sia nel controllo delle risorse del sistema, ed in modo 'programming' col quale è possibile costruire, a partire dagli operatori primari, procedure via via più complesse.

Questo modo di operare del PRIMULA dà la possibilità all'utente di affrontare ora questo ora quel dato problema senza costringerlo ad adattarsi alle tematiche già sviluppate nei 'linguaggi' musicali esistenti a meno di interventi che richiedono grandi difficoltà.

Un linguaggio di tipo interpretativo come è il PRIMULA restituisce la natura di programmabilità e quindi di universalità di impiego al calcolatore.

PRIMULA è stato pensato per essere utilizzato con un normale terminale con set di 64 caratteri ASCII.

Caratteristiche del PRIMULA

Gli 'oggetti' che tratta il PRIMULA sono quantità numeriche intere, valori logici e 'stringhe' alfanumeriche.

Esistono tutti gli operatori aritmetici e logici.

E' possibile definire variabili numeriche, logiche e 'stringa' multidimensionali.

Esistono operatori di generazione numerica oltre a particolari operatori 'musicali' .

E' possibile combinare variabili e costanti con qualsiasi sequenza.

Sequenze di operazioni (istruzioni) possono essere raggruppate con le strutture di controllo di tipo "loop" "while" "if-then-else"

E' possibile creare 'funzioni' a partire dagli operatori primari che possono essere utilizzate in altre funzioni, o nella stessa permettendo quindi la ricorsività.

Esistono operatori di I/O

PRIMULA , essendo un linguaggio interpretativo, può essere utilizzato per ottenere immediati risultati (direct) o per attivare funzioni precedentemente costruite (programming)

PRIMULA genera strutture dati che possono essere utilizzate da un qualsiasi apparato esterno per la generazione sonora previa opportuna interfaccia.

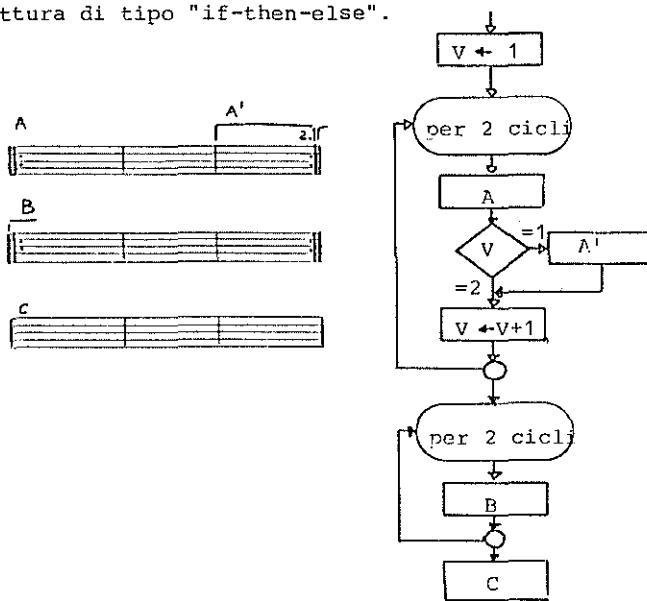
Si affronta la descrizione di PRIMULA partendo dal problema della trascrizione di musica da pentagramma fino ad arrivare al problema della generazione deterministica e/o casuale.

Di solito un brano musicale viene denominato con un titolo accompagnato da indicazioni che ne descrivono il carattere esecutivo; quindi segue la descrizione del brano.

Il brano è costituito da sottosequenze etichettate (tradizionalmente con lettere dell'alfabeto) all'inizio e alla fine delle quali riportano particolari simbologie che hanno il significato di rimandare l'esecuzione in punti precisi della partitura.

Il simbolo di Ritornello viene usato per indicare la ripetizione di un numero di volte di una certa porzione.

Facendo un raffronto con la terminologia dei linguaggi di programmazione, possiamo asserire che il Ritornello è una struttura di tipo "loop", la non esecuzione di alcune battute alla fine di un ritornello è una struttura di tipo "if-then-else".



Una successione di valori frequenziali con durata variabile è possibile rappresentarla su un sistema di assi cartesiani in cui in ascisse mettiamo il tempo ed in ordinate le frequenze (con scala logaritmica)



Da un punto di vista pratico, l'uso del pentagramma permette di riconoscere 'ad occhio' la posizione di un tratto; l'uso di figure, che hanno semplicemente il significato di 'lunghezza di tratto' sono anche esse più pratiche per il riconoscimento 'ad occhio'.

La stessa sequenza su assi cartesiani si trascrive direttamente su pentagramma



Una 'nota' musicale è quindi una quantità bidimensionale che può quindi essere rappresentata all'interno di un calcolatore con una coppia di numeri.

In realtà si sa che ad ogni nota viene sempre associata anche una certa simbologia per descriverne il 'modo' di esecuzione, ed oltre a questo esiste anche una simbologia 'globale' che riguarda l'andamento ritmico o volumetrico che riguarda una certa sequenza.

In ogni modo tutto ciò rivela che la scrittura musicale su pentagramma, descrive un fenomeno a struttura parallela.

I linguaggi musicali hanno fino ad ora risolto il problema della trascrizione con la serializzazione delle informazioni, rifacendosi ai sistemi di 'data entry' più comuni come tastiere alfanumeriche, lettori di schede, lettori di nastri. (anche se qualcuno ha tentato la via del video e light-pen e riconoscitori di immagini)

PRIMULA è orientato verso la costruzione di strutture dati il cui significato non è definito a priori: il significato viene loro dato al momento della esecuzione sonora; il che permette la generalizzazione degli operatori. Esaminiamo in dettaglio l'insieme degli operatori:

Operatori aritmetici

Gli operatori aritmetici sono $-$, $+$, \times , $/$, ed elevamento a potenza \uparrow ; in una espressione aritmetica esiste una scala di priorità di alcuni sugli altri:

$\uparrow \text{ sv } \times \text{ e } / \text{ sv } - \text{ e } +$

In ogni modo è possibile alterare la scala mediante l'uso di parentesi.

Istruzioni di assegnamento

E' possibile definire una variabile mediante etichette alfanumeriche e di assegnare loro quantità numeriche, logiche e 'stringa' con l'operatore di assegnazione \leftarrow .

L'istruzione $A \leftarrow (3\uparrow 2+5)\times(4-2)$ assegna alla variabile A il valore 28. La variabile A può essere utilizzata in una nuova istruzione: $B \leftarrow (A-20)\uparrow 2$ che assegna a B il valore 64

Istruzioni di assegnamento si usano anche per quantità logiche e 'stringa'

$A \leftarrow 'MUSIC'$ assegna ad A il "valore" MUSIC

Operatori logici

Gli operatori logici sono formati dalla combinazione di due simboli :	$++$	or	$-+$	nor
	$--$	not	$-*$	nand
	$\times\times$	and	$-=$	diverso
	$//$	Xor	$>=$	magg.uguale
			$<=$	min.uguale

I simboli $=$, $>$, $<$ rimangono come tali.

Variabili dimensionate

L'istruzione `V ← 1 5 1280 -7` crea un vettore di quattro elementi indicizzabili di nome `V`.
`A ← V(2)` assegna ad `A` il valore 5.

Per creare strutture a più dimensioni si utilizza il simbolo `@` preceduto da valori che indicano le effettive dimensioni. L'istruzione

`2 3 @ M ← 1 2 3 4 5 6`

crea una matrice a due dimensioni di due righe e tre colonne così formata:

1 2 3
4 5 6

`A ← M(2 2)` assegna ad `A` il valore 5.

E' possibile operare la trasformazione di una struttura dimensionata in un'altra. Per esempio:

Se `V` è il vettore di inizio pagina, l'istruzione

`2 2 @ N ← V` crea una matrice a due righe e due colonne così disposta:

1 5
1280 -7

L'istruzione `3 3 @ N ← V` crea una matrice di tre righe e tre colonne a partire dagli elementi di `V`, che una volta esauriti, riciclano dall'inizio:

1 5 1280
-7 1 5
1280 -7 1

L'istruzione `100 @ Z ← 0` crea un vettore di 100 elementi tutti a zero.

Se `N` è la matrice di prima, l'istruzione

`7 @ W ← N` genera un vettore di nome `V` di sette elementi: 1 5 1280 -7 1 5 1280

Operazioni matriciali

Vettori o più in generale strutture dimensionate, sono combinabili con operatori aritmentici o logici.

Sia A ← !5 e B ← 10 9 8 7 6

L'istruzione C ← A+B produce un vettore di nome C
di 5 elementi 11 11 11 11 11 .

L'istruzione C ← A*B pruduce un vettore di nome C
di 5 elementi 10 18 24 28 30

Sia A un vettore di valori logici 1 0 0 1 1
e B un vettore di valori logici 0 1 1 1 1

L'istruzione C ← A**B produce un vettore logico di
5 elementi 0 0 0 1 1 .

Esistono poi operatori che, lasciando immutate le quantità
modificano la disposizione all'interno della struttura.

Questi operatori sono tutti a due caratteri di cui il
primo è # .

Il simbolo #= opera una trasposizione orizzontale

" " #! " " verticale

" " #/ opera una trasposizione lungo la diagonale
basso.sinistra-alto.destra

" " #\ opera una trasposizione lunga la diagonale
basso.destra-alto.sinistra

Il simbolo #< opera una rotazione di n elementi di un
vettore o di una matrice verso sinistra:

ROT ← 2 #<!7 genera un vettore di nome ROT di 7
elementi: 3 4 5 6 7 1 2

Il simbolo #> opera la rotazione di n elementi di un
vettore verso destra.

L'operatore (o simbolo) $\# \leftarrow$ opera una rotazione verso sinistra per conteggio; questo significa che la rotazione si arresta quando la somma degli elementi che "passano dalla prima posizione all'ultima" raggiunge il valore dato. Per essere precisi quando il valore è \geq di quello voluto.

Le istruzioni $A \leftarrow !10$; $CONT \leftarrow 12 \# \leftarrow A$ generano

- un vettore A di 10 elementi con la serie naturale dei numeri da 1 a 10
- un vettore CONT di 5 elementi: 1 2 3 4 2
- ed infine A : 5 6 7 8 9 10 1 2 3 4

L'operatore $\#+$ esegue una giustapposizione orizzonatale di due vettori: $A \leftarrow 5 8 3 12 78$; $B \leftarrow !3$; $GIUOR \leftarrow A\#+B$ genera un vettore GIUOR : 5 8 3 12 78 1 2 3

L'istruzione $GIUOR \leftarrow B\#+A$ genera un vettore
GIUOR : 1 2 3 5 8 3 12 78

L'operatore $\#=$ esegue una giustapposizione verticale di due vettori (o matrici): siano A e B i vettori di prima si ha $VERT \leftarrow A\#=B$
VERT è una matrice così costituita

5 8 3 12 78
1 2 3 1 2

Come si può notare vale il principio del 'riciclo' una volta esaurito un vettore.

Infine con l'operatore $\#\uparrow$ è possibile operare un riordinamento di un vettore rispetto ad un altro.

Sia $A \leftarrow 1 2 3 4 5 6$ e $B \leftarrow 4 5 3 6 2 1$

l'istruzione $R \leftarrow A\#\uparrow B$ genera un vettore R: 4 5 3 6 2 1
L'istruzione $A \leftarrow A\#\uparrow B$ 'riarrangia' il vettore A secondo l'ordine prospettato da B

Generatori

L'operatore ! genera una sequenza ordinata a partire dal numero 1 ; l'istruzione

S ← !18

genera un vettore di nome S di 18 elementi: S(1)=1, S(2)=2 ... S(18)=18

L'operatore ? genera un numero casuale compreso tra limiti specificati : R← 17?34 assegna ad R un numero casuale equiprobabile tra 17 e 34 .

L'operatore % esegue una interpolazione lineare: posto tra due vettori di quantità, ne genera uno di valori interpolati; il passo di interpolazione è determinato dalla dimensione di quest'ultimo.

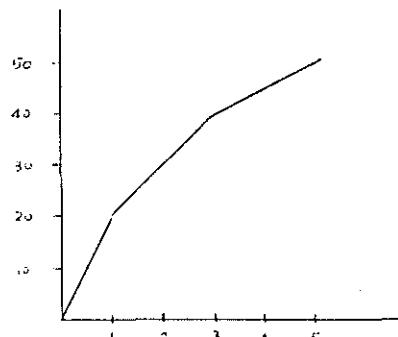
10@INT ← 0 1%1 20

genera un vettore di nome INT di dieci elementi i cui valori sono: INT(1)=0 , INT(2)=2 . INT(10)=20

La sequenza di istruzioni (separate da ;)

A ← 0 1 3 5; B ← 0 20 38 50; 15@INT2 ← A%B

genera un vettore di 15 elementi di valore, nell'ordine
0 5 10 15 20 24 27 31 34 38 40 43 45 48 50



Operatori musicali

Come si è visto è possibile costruire sequenze di valori in molti modi, e quindi anche sequenze di valori che rappresentino frequenze e durate ed altro.

Esiste comunque la possibilità di costruire sequenze di valori che si riferiscono direttamente alla notazione musicale su pentagramma.

Il simbolo $\%$ definisce una 'stringa musicale'; il simbolo $\%$ si usa per aprire e per chiudere una stringa musicale, all'interno della quale è permessa la seguente simbologia:

-	rigo
=	spazio
=	diesis
&	bemolle
%	bequadro
(e)	per la chiave e la tonalità

Una nota, a seconda della sua posizione sul pentagramma, viene codificata con un - o = preceduto da un numero.

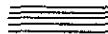


2=

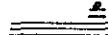


4-

Note al di fuori del pentagramma si codificano precedendo con un - o un + .



-1-



+3=

La sequenza su pentagramma



si codifica con

$\%$ (2- 1#) -1- 1= 3- &2- 4- 3= #+1- 4- +2- $\%$

All'interno della stringa musicale si danno esclusivamente riferimenti alle altezze delle note. La struttura musicale definitiva viene costruita mediante l'operatore $\# =$.
La notazione su pentagramma



si traduce in PRIMULA con

$F \leftarrow \$ (2- 2\&) \% 1- = 1= 2- 3- 4- 3= 2- 2= \$;$
 $D \leftarrow 200 200 400 400 400 200 200 800; M \leftarrow F\#=D$

Strutture di controllo

Le strutture di controllo di PRIMULA sono tre :

```
[: if : then : else]  
[ n : corpo del loop]  
[, corpo del while:condizione]
```

e possono essere utilizzate con qualsiasi grado di annidamento.

La partitura di pagina , una volta definite le sequenze A,A1,B e C si traduce in PRIMULA

$V \leftarrow 1; M \leftarrow [2:A\#+ [:V=1:A1:] ; V \leftarrow V+1] \# + [2:B] \# + C$

Le strutture di controllo possono essere usate anche per generare sequenze più propriamente musicali



La traduzione in PRIMULA è la seguente:

```
N  $\leftarrow \$ (2-) -2- -1= 1- 1= 2- 2= 3- 3= 4- 4= \$; 48 @ M \leftarrow 0;$   
K  $\leftarrow 1; J \leftarrow 10; [, I \leftarrow J-1;$   
 $[ 6: K \leftarrow K+1; M(K) \leftarrow N(J) - N(I); I \leftarrow I-1 ]$   
 $J \leftarrow J-1 : J > 6 ]$ 
```

Per completare la generazione (durate)

$48 @ D \leftarrow 400; STR1 \leftarrow M\#+D$

Volendo definire una struttura ritmica più complessa,
ad esempio  per ogni battuta, si scrive

```
FR1 ← 200 200 200 #+ [;8:150] #+600; DUR ← [;8:FR1]
```

Se le battute si alternano in figurazione ritmica



Si procede: FR2 ← [;4:150] #+ 450 150 #+ [;4:150] #+300 300;
DUR ← [;2:FR1#+FR2]

Funzioni

Se una certa sequenza di operazioni deve essere eseguita
più volte nella stessa seduta o in altre successive, può
essere etichettata e memorizzata con un nome opportuno:

"FUNZ corpo della funzione "

E' possibile quindi costruire anche operatori che
eseguano calcoli trigonometrici, logaritmi etc.

Con la definizione di funzioni è possibile memorizzare
anche testi musicali attraverso le variabili stringa:

"TESTO
T ← ' \$ \$ ' ; D ← "

Operatori di I/O

Esistono principalmente due operatori di ingresso e uscita:
&I e &O ; l'uso che se ne fa comunque richiamano più
il concetto di variabile. Infatti l'istruzione

&O ← 3+&I+5 significa:

somma 5 ad una qualità che si introduce da tastiera;
somma il risultato ottenuto con 3 e stampalo a terminale.

Comandi

Il contorno minimo richiesto da PRIMULA è costituito da:

- microcalcolatore con 32K bytes di memoria
- terminale con set di 64 caratteri ASCII
- memoria di massa (dischi flessibili o cassette)

PRIMULA, essendo un interprete, può controllare lo stato del sistema e gestirne le risorse attraverso l'uso di comandi appositi; è possibile quindi controllare la quantità di memoria disponibile, le funzioni attive e le strutture dati; trasferire da e verso la memoria di massa risultati parziali o globali.

La lista dei comandi (di massima) è la seguente:

LISTF	lista a terminale i nomi delle funzioni attive
LISTD	lista a terminale i nomi delle strutture dati
DISPM	informa sulla quantità di memoria disponibile
PERM	carica su memoria permanente contenuti della memoria operativa
MEM	carica in memoria centrale il contenuto della memoria di massa (getzione files)
CONTR	controlla lo stato di una periferica

Tabella riassuntiva degli operatori di PRIMULA

+ - * / ↑ operatori aritmetici

++ or
-- not
** and
-+ nor
-* nand
= uguale
< minore
> maggiore
-= diverso
<= minore/uguale
>= maggiore/uguale
← assegnatore
; : , delimitatori
! generatore sequenziale
? generatore casuale
§ interpolatore
dimensionatore
#- traspositore orizzontale
#! traspositore verticale
#/ traspositore diagonale destro
#\ traspositore diagonale sinistro
#< rotatore per elementi sinistro
#> rotatore per elementi destro
#← rotatore per conteggio
#= giustappositore verticale
#+ giustappositore orizzontale
=↑ riordinatore
' stringa alfanumerica '
(indici o priorità)
strutture di controllo
§ stringa musicale §
" Funzioni "
diesis
& bemolle
% bequadro
() chiave e tonalità
- rigo
= spazio

&I ingresso da tastiera
&O uscita su visualizzatore
&S uscita sonora

ALCUNE CONSIDERAZIONI SULLA FORMALIZZAZIONE
DEI PROCESSI COMPOSITIVI

Alvise VIDOLIN

Conservatorio "B. Marcello", Venezia - Computer Music Group,
Università di Padova

Riassunto - Vi possono essere vari livelli di rappresentazione della informazione musicale e di soluzione del problema di comunicazione uomo - macchina.

Il primo livello è caratterizzato dall'adattamento del compositore alla metodologia operativa della macchina. Il compositore è costretto a tradurre l'idea musicale in una serie di istruzioni comprensibili solo alla macchina e diverse per ogni tecnica di sintesi adottata. Tali istruzioni fanno riferimento al processo di realizzazione del suono e costituiscono quella che viene chiamata partitura operativa.

Il secondo livello è caratterizzato dall'impiego di un linguaggio simbolico che associa ad ogni simbolo o gruppo di simboli un evento musicale e permette la codificazione della informazione musicale in modo più diretto ed immediato.

Il terzo livello consente al compositore di esprimere la propria idea musicale in maniera diretta utilizzando un linguaggio orientato alla composizione musicale. Tale linguaggio, che chiameremo strutturale, permette la definizione e la organizzazione dei materiali musicali nella maniera più immediata possibile, senza limitare i vantaggi derivanti dall'uso di linguaggi a livelli inferiori.

In questo lavoro vengono analizzati tali livelli di rappresentazione della informazione musicale facendo riferimento alle esperienze condotte con il programma EMUS di elaborazione di strutture musicali.

Il computer è certamente uno strumento che permette la realizzazione di strutture sonore e musicali altrimenti non ottenibili e che apre nuovi orizzonti nel settore della composizione musicale. Ma queste reali possibilità richiedono un bagaglio di conoscenze tecniche-scientifiche che normalmente il musicista non possiede, oppure richiedono l'impiego di linguaggi aridi e poco adatti ad una descrizione della musica, oppure richiedono metodologie operative lunghe e scomode che sono lontane dalla fase del processo inventivo od anche progettuale di una opera musicale.

La necessità che si avverte ora nel campo della computer music è quella di disporre di linguaggi che offrano le possibilità soprattutto ma che siano vicini al 'fare' ed al 'pensare' del musicista o in altri termini che permettano un sistema ottimale di comunicazione uomo-macchina. Con questo non voglio dire che il musicista non debba ampliare le proprie conoscenze, tutt'altro, anche perché il fare ed il pensare può essere stimolato dagli strumenti di lavoro.

Per chiarire meglio i concetti sopra esposti, vediamo alcune definizioni.

Noi chiamiamo partitura operativa la definizione di uno o più eventi sonori mediante la definizione di un modello fisico di simulazione e dei parametri fisici che tale modello richiede. La partitura operativa permette, almeno teoricamente, la realizzazione di qualsiasi evento sonoro, unica limitazione la nostra capacità di formalizzarlo. Per non lasciar dubbi su questa definizione, posso citare come esempio di partitura operativa i dati di ingresso richiesti dal programma MUSIC5 /1/. Questi si dividono nella definizione dello strumento (modello di simulazione) e nella definizione temporale dei parametri fisici richiesti dallo strumento stesso. Nella migliore delle ipotesi, questi parametri rispecchiano la descrizione fisica del suono come ad esempio la frequenza in Hz, l'ampiezza in dB, la durata in sec., etc.

Volendo essere ancora più precisi, la partitura operativa può essere semplice o completa. Si dice partitura operativa semplice quando contiene solo la definizione temporale dei parametri. Essi si riferiscono perciò, ad un singolo strumento o ad un repertorio di strumenti catalogati (in generale realizzato da altri). Si chiama partitura operativa completa la partitura che contiene sia la definizione dello strumento o degli strumenti che la definizione dei

rispettivi parametri. Vorrei marcare l'influenza sulla prassi composta_
tiva che può portare la scelta di una partitura piuttosto di una
altra.

Nella partitura operativa semplice, il modello di sintesi è sem_
pre lo stesso e per quanto versatile questo possa essere la prassi
compositiva che ne deriva è simile a quella tradizionale per voci o
per strumenti. Viceversa nella partitura operativa completa, si de-
finiscono o si compongono i modelli di sintesi ogni volta diversi a
seconda delle esigenze.

In ogni caso il metodo compositivo che la partitura operativa
in generale consente è sempre del tipo cronologico-associativo /5/,
in cui il tempo assoluto decide la irrimuovibile collocazione degli
eventi sonori. Questo tipo di partitura, consente di penetrare più
a fondo nel materiale sonoro e di comporre il suono con il migliore
dettaglio possibile.

Chiamiamo partitura simbolica la partitura che non ha più come
riferimento il modello di simulazione, bensì il modello psicologico
di percezione. Nella partitura simbolica si individuano ad esempio
le altezze, le dinamiche, gli accenti, etc. E' compito della macchi_
na e del programma di interpretazione dei simboli, esplicitare il
contenuto simbolico e tradurlo in partitura operativa. Un esempio di
partitura simbolica lo troviamo nel linguaggio MUSICA /4/.

I problemi di interpretazione di un linguaggio simbolico li ve_
dremo meglio successivamente, per ora mi interessa marcare che con
tale partitura si raggiunge un buon grado di astrazione e il musicista_
sta può lavorare con un linguaggio molto più intuitivo. Il metodo
compositivo che tale partitura permette è sempre del tipo cronologi_
co associativo, anche se la collocazione degli eventi può essere ri_
ferita ad un metro oppure riferita alla collocazione dell'evento
precedente.

Il programma di interpretazione di una partitura simbolica, ge_
nera una partitura operativa semplice, per cui la composizione del
suono è più limitata, ossia è condizionata dai modelli di simulazio_
ne (strumenti) previsti e dalle caratteristiche del programma di in_
terpretazione. Ne segue che non si può fare niente di più di ciò che
il programma prevede, a meno di non ampliare la funzione di inter-
pretazione alle nuove esigenze e quindi il compositore deve saper
programmare o lavorare in stretta collaborazione con un programmat_

re.

Chiamiamo infine partitura strutturale la partitura che ha come riferimento il modello formale di composizione musicale. Nella partitura strutturale, si definiscono, si organizzano e si elaborano insiemi di parametri musicali o di eventi sonori, in una visione più globale. Con essa sono possibili metodi compositivi diversi; oltre il cronologico associativo, si può usare il "top-down" o il "bottom-up" o una loro combinazione che sempre da Koenig viene chiamato a blocchi /5/.

Nella partitura operativa e in quella simbolica gli eventi sonori o musicali sono definiti separatamente, ossia indipendentemente dal contesto; nella partitura strutturale è possibile definire le relazioni fra questi eventi, avvicinandosi sempre più alla essenza della composizione. La partitura strutturale, inoltre, può essere a sua volta operativa, simbolica, mista.

La partitura strutturale si dice operativa quando elabora i parametri del modello fisico; si dice simbolica quando elabora i parametri del modello percettivo; si dice mista quando elabora sia parametri operativi che simbolici. Un esempio di partitura strutturale operativa lo troviamo nelle PLF del MUSIC5 /1/, di partitura strutturale simbolica nel PROJECT2 di G.M. Koenig /2/, di partitura strutturale mista nel programma EMUS /3/.

Per chiarire meglio questa definizione di partitura strutturale, vediamo la struttura di un brano musicale tradizionale. Come si vede dalla fig. 1, abbiamo una divisione in voci, ogni voce è divisa in misure, ogni misura può contenere elementi singoli come ad esempio il metronomo, la dinamica; successioni di elementi, come la successione delle note; successioni di gruppi di elementi come la successione di accordi. A loro volta gli accordi si dividono in note e le note si dividono in elementi singoli come ad esempio la durata, l'altezza, etc.

La partitura simbolica sopra definita è costituita dalla definizione completa degli elementi terminali di tale struttura ossia dall'altezza, dalla durata, dal metronomo, etc. In questo modo viene data una definizione puntuale del brano musicale, elemento per elemento, presentando così il risultato finale del processo compositivo.

Utilizzando invece una partitura strutturale, è possibile defi-

nire come entità qualsiasi livello della struttura. Riferendoci ancora alla figura 1, possiamo definire sia l'elemento singolo che la nota, che l'accordo, che la misura, che la voce. Queste definizioni poi, possono essere fatte in vari modi.

Se facciamo una parentesi nel discorso generale, e prendiamo in considerazione il programma EMUS di elaborazione di strutture musicali /3/, possiamo vedere alcuni esempi di definizione di un accordo:

- 1 - definizione assoluta: - mediante un linguaggio simbolico, come ad es. C4, E4, G4
 - mediante un linguaggio operativo (HZ); come ad es. 261.6, 311, 392.
- 2 - definizione relativa: posso fissare gli intervalli ed in un secondo momento, quando l'accordo sarà associato alla fondamentale, esso diventerà assoluto, ad es. 3MAGG, 5MAGG.
- 3 - definizione parziale: posso lasciare indefinita una nota e in un secondo momento, in dipendenza dal contesto, determinarla, ottenendo la definizione assoluta, ad es. C4, *, G4.
- 4 - definizione mediante regole: - aleatorie o parzialmente aleatorie
 - deterministiche, come ad es. 4 note in progressione geometrica di base 2 e ragione 1.5

ed altri modi ancora.

Il programma EMUS svolge tre funzioni: una di generazione o di definizione del materiale base, una di elaborazione di tale materiale, una di interpretazione. La partitura che gestisce queste funzioni è appunto una partitura strutturale mista, intesa nel senso della definizione sopra data e che agisce sulla struttura intermedia riportata in figura 2.

Tale struttura è divisa in linee, ogni linea è divisa in celle, ed ogni cella in tre tipi di dati diversi: insiemi di insiemi, insiemi, dati. Confrontando la figura 2 con la figura 1 si vede che quest'ultima è un caso particolare della struttura intermedia.

Questa struttura intermedia è stata pensata per elaborare sia parametri operativi che simbolici, per cui i dati possono essere numerici o simbolici ed avere insiemi o insiemi di insiemi di simboli o di numeri. Vorrei inoltre sottolineare che tale struttura può essere usata anche in modi completamente diversi da quello della struttura tradizionale.

Vediamo ora a grandi linee alcuni metodi per determinare i parametri, sia operativi che simbolici. Questi metodi si possono dividere in metodi di:

- assegnazione
- selezione da un repertorio
- definizione mediante funzioni
- generazione mediante regole aleatorie o parzialmente aleatorie
- generazione mediante regole deterministiche

Un parametro raramente viene determinato con uno solo di questi metodi, ma la maggior parte dei casi utilizza una combinazione di questi. In questo caso è molto difficile distinguere una funzione di interpretazione da una di definizione. Inoltre è molto importante definire l'ordine con cui vengono applicati i diversi metodi.

Facciamo un esempio di determinazione della frequenza di un suono. Supponiamo di voler selezionare l'altezza indipendentemente dalla ottava, purchè questa si trovi nel range ottimale del timbro ad essa associato ed appartenga ad una scala di frequenze date. Una soluzione del problema può essere la seguente (V. fig. 3).

Un primo valore di frequenza lo ottengo mediante una funzione nel tempo campionata all'istante relativo t_i in cui mi trovo. Adesso modifico tale frequenza con operazioni di moltiplicazione o divisione per 2 (trasposizioni di ottava) finché non cado nel range di valori ottimali richiesti dal timbro associato a tale frequenza. A questo punto seleziono da un repertorio di frequenze quella più vicina alla mia nuova frequenza.

In questo esempio la fase di definizione è riservata al campionamento della funzione mentre le operazioni successive si possono chiamare di interpretazione. In un altro esempio però, la selezione da un repertorio potrebbe essere la fase di definizione e le altre due operazioni quella di interpretazione.

Volendo tornare al discorso generale, si può dire che la fase

di interpretazione ha una enorme importanza nella determinazione della partitura operativa, soprattutto se la partitura strutturale è simbolica. Vediamo quindi di approfondire tale funzione di interpretazione.

In generale la funzione di interpretazione opera su un sistema ad n entrate ed m uscite. Gli ingressi possono essere numeri e/o simboli, a seconda che la partitura strutturale sia operativa, simbolica o mista. Questo sistema può avere dei casi particolari:

- 1 - $n = m = 1$: un ingresso ed una uscita. Es. traduzione di un simbolo nel valore numerico corrispondente: C4=261.6 Hz.
- 2 - $n = 1$: un ingresso m uscite. Es. esplicitazione di un accento. Lo accento può modificare l'ampiezza, il transitorio di attacco, la durata fisica, il contenuto spettrale, etc. del suono.
- 3 - $m = 1$: n ingressi ed 1 uscita. Es. determinazione di un parametro operativo dal valore di più parametri simbolici. Nella sintesi mediante modulazione di frequenza il parametro operativo indice di modulazione può dipendere dai valori simbolici di dinamica, di altezza, di accento etc.
- 4 - Può essere richiesta l'equivalenza semantica della funzione di interpretazione; ossia si vogliono ottenere risultati semanticamente equivalenti adottando tecniche di sintesi diverse. In questo caso il sistema di interpretazione è separato in due o più sottosistemi ciascuno dei quali riceve gli stessi parametri simbolici ma li traduce in parametri operativi diversi che danno lo stesso significato musicale. Es. la stessa successione di accenti con due sistemi di sintesi differenti deve produrre lo stesso effetto.
- 5 - La funzione di interpretazione deve avere le capacità di memoria e di anticipazione. Infatti se si vuole un ottimale processo di interpretazione, è necessario far dipendere dal contesto le operazioni di interpretazione. Bisogna conoscere quindi un vasto insieme di dati da interpretare nel tempo, e non solo la situazione in un determinato istante. Solo considerando un ampio intervallo di tempo è possibile realizzare una funzione di interpretazione che agisca contestualmente.
In questo caso gli ingressi al sistema di interpretazione aumentano all'aumentare del numero di eventi passati e futuri che si

considerano. Es. l'esplicitazione di un crescendo dinamico. E' necessario conoscere dove inizia e dove e come finisce per stabilire il tasso di incremento. E' chiaro che questo tipo di funzione di interpretazione non è utilizzabile con processi in tempo reale.

Ora che abbiamo visto i diversi sistemi di interpretazione, vediamo alcune tecniche di interpretazione.

1 - Interpretazione nulla. Si verifica quando la partitura strutturale è operativa e il valore assoluto in essa indicato va direttamente in uscita nella partitura operativa. Es. nella partitura strutturale la frequenza viene indicata in Hz.

2 - Interpretazione mediante conversione. La funzione di interpretazione è caratterizzata dall'uso di espressioni matematiche. Es. La durata fisica del suono dipende dalla durata metrica, dall'ampiezza, dalla frequenza:

$$\text{DURATA FISICA} = \text{DURATA METRICA} + \text{DURATA METRICA}/\text{LOG10}(FREQ) + \\ + \text{DURATA METRICA} \times \text{AMPIEZZA(db)}/200.$$

3 - Interpretazione mediante traduzione. Il valore simbolico viene associato al corrispondente valore numerico. Es. traduzione della altezza in Hz: C4 = 261.6 Hz.

4 - Interpretazione mediante funzioni. Un parametro viene interpretato in funzione di un altro mediante una legge grafica. Es. esplicitazione della intensità data in phon secondo le curve isofoniche, al variare della frequenza.

5 - Interpretazione mediante regole aleatorie o parzialmente aleatorie. Es. modifica aleatoria di un parametro come la durata fisica del suono:

$$\text{DURATA FISICA} = \text{DURATA METRICA} + \text{DURATA METRICA} \times \text{NUMERO ALEATORIO NEL RANGE } (-0.5, +0.5).$$

6 - Interpretazione mediante regole deterministiche. Es. cito quello precedente di fig. 3: radoppiare o dimezzare la frequenza finché questa non cade nel range ottimale di valori per il tempo associato.

Tornando ancora al programma EMUS, in esso la funzione di interpretazione agisce sugli insiemi di insiemi, sugli insiemi e sui dati contenuti in una cella. Il sistema di interpretazione ha quindi capacità di memoria e di anticipazione. Infatti guardando il contenu-

to della cella da un punto di vista temporale, questa è divisa in un certo numero di battiti (fig. 4). Il programma di interpretazione ha a disposizione i valori terminali di questi battiti (d_1 , d_2 , ..., d_n , di fig. 2) per svolgere le operazioni di interpretazione. Tale programma agisce quindi in maniera contestuale, con i limiti di non aver memoria nel primo battito e non aver anticipazione nel l'ultimo. Lo svantaggio che comporta tale situazione però è estremamente inferiore ai vantaggi che la divisione in celle comporta. In ogni caso, maggiore è il numero di battiti contenuto nella cella e più aumentano le capacità di memoria e di anticipazione del sistema di interpretazione.

Inoltre poichè ogni battito può essere associato ad un timbro diverso che si traduce, in termini operativi, a poter avere associato ad ogni battito uno strumento di sintesi diverso, il sistema di interpretazione del programma EMUS, è fatto in modo da poter far valere l'equivalenza semantica definita prima. Attualmente tale esigenza può essere soddisfatta se si utilizzano gli strumenti catalogati e preventivamente tarati fra di loro. Ad esempio è necessario tarare le ampiezze dei segnali in modo tale che ad uno stesso simbolo dinamico tutti gli strumenti diano la stessa sensazione di intensità anche se i timbri sono completamente diversi.

E' in fase di realizzazione un ampio catalogo di strumenti che soddisfi a queste esigenze e che permetta inoltre al musicista che non ha ampie conoscenze tecnico-scientifiche di utilizzare ugualmente il computer accontentandosi delle sonorità previste in tale catalogo.

Il programma EMUS attualmente ha una funzione di interpretazione di caratteristiche generali e che viene continuamente ampliata. E' possibile inoltre realizzare funzioni di interpretazione completamente nuove adatte a soddisfare le più personali esigenze.

In conclusione, la funzione di interpretazione svolge un ruolo determinante nella determinazione della partitura operativa partendo sia da una partitura strutturale che da una simbolica. L'esperienza condotta con EMUS ha fatto emergere anche l'importanza compositiva della funzione di interpretazione. Qualora si voglia modificare od espandere questa funzione il compositore deve stabilire in modo chiaro ed esplicito le nuove regole di interpretazione. Tali regole, se il compositore lo desidera, possono essere inserite

te in modo permanente nel programma in modo che la sua esperienza possa servire anche ad altri. Ciò non toglie nulla al fatto creativo, alla responsabilità compositiva ed alla paternità dell'opera musicale che rimane sempre al compositore che definisce la partitura strutturale.

Riferimenti Bibliografici

- 1 MATHEWS, Max V. "The Technology of Computer Music", 1969, M.I.T. press, Cambridge.
- 2 KOENIG, Gottfried M. "Project 2: computer program for the calculation of musical structure variants", 1970, Electronic Music Reports n. 3.
- 3 DE POLI, Giovanni, VIDOLIN, Alvise "EMUS: un programma per l'elaborazione di strutture musicali", 1977, atti del I^o Colloquio su aspetti teorici di informatica musicale, Milano.
- 4 DE POLI, Giovanni "MUSICA: a programme de codage de la musique", 1978, IRCAM, Rapp. Scient., Parigi.
- 5 KOENIG, Gottfried M. "Composition Processes", 1978, Proc. Summer Workshop in Computer Music, Unesco, Aarhus.

Simbolo Significato

VOX

voce

M

misura

A

accordo

N

nota

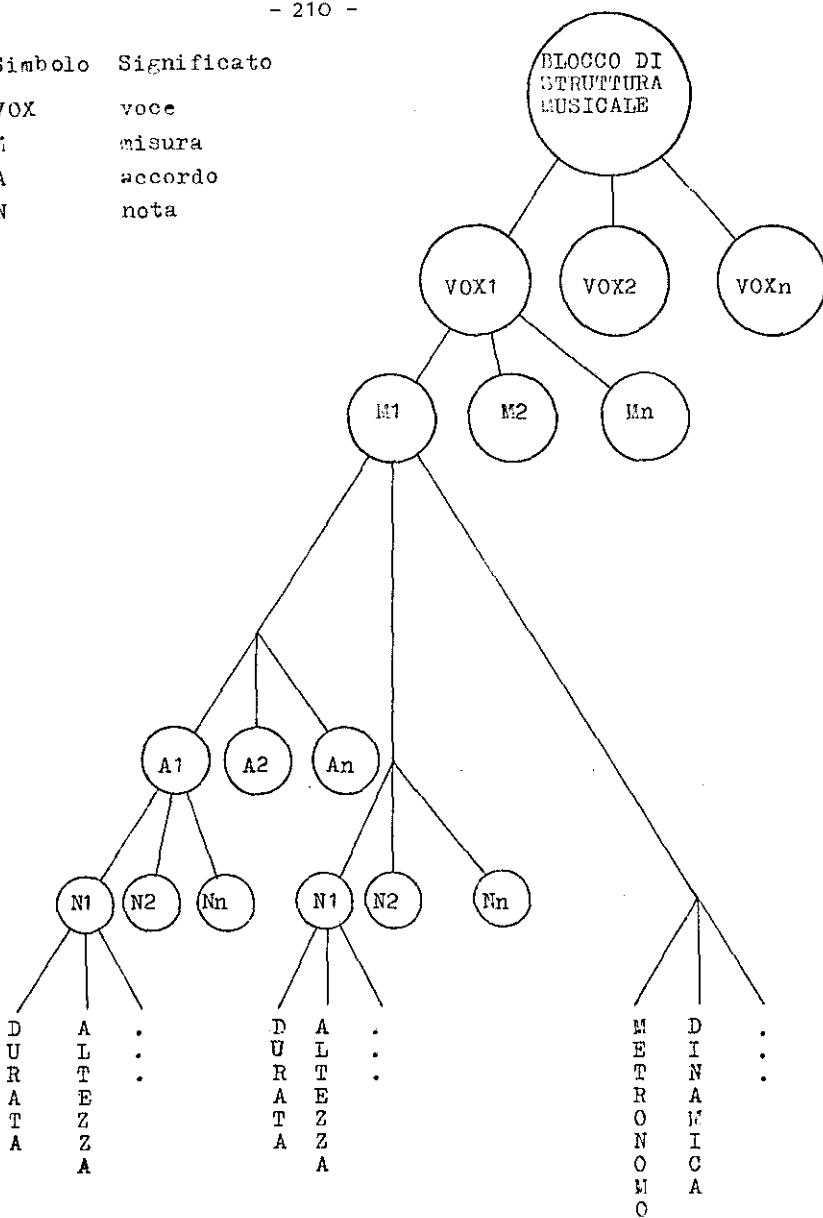


Fig. 1

Simbolo	Significato
L	linea
C	cella
II	insieme di insieme di elementi
I	insieme di elementi
D	elemento simbolico o numerico

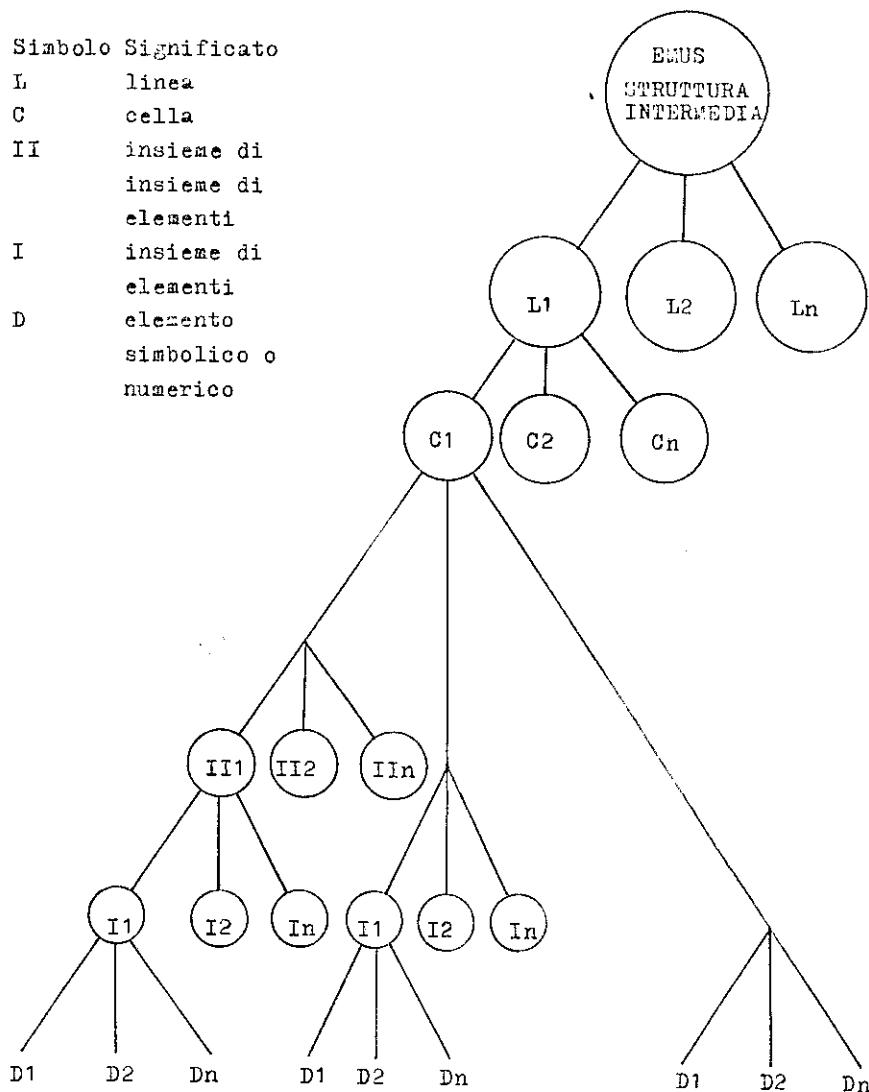


Fig. 2

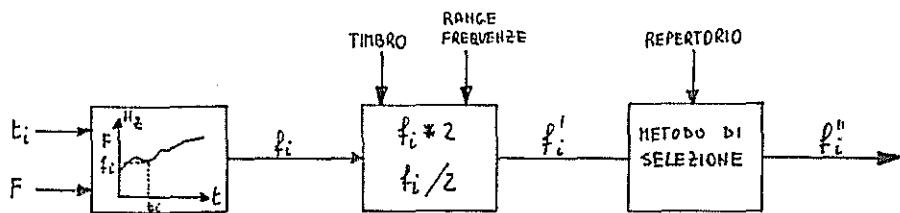


Fig. 3

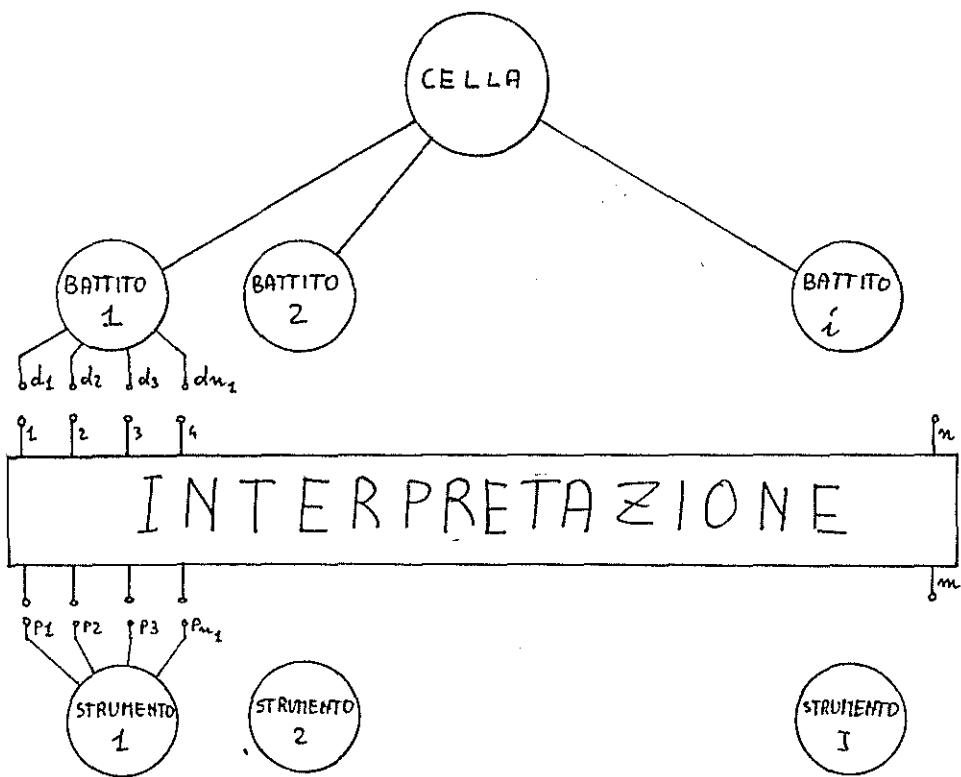


Fig. 4

FORMALIZZAZIONE DEI PROCESSI ESECUTIVI DELLA MUSICA RINASCIMENTALE VENEZIANA

Il lavoro qui presentato, proposto dal M.^o Virginio Fagotto che, in collaborazione con il M.^o Alvise Vidolin, aveva già sperimentato la resa sonora di musiche nate in contesti non-temperati, si inserisce ora in un progetto generale più vasto, che mira alla verifica della percettibilità delle differenze di intonazione anche in ambiti musicali di una certa estensione e, successivamente, alla formalizzazione delle relative prassi esecutive, con particolare attenzione a quanto prodotto nell'ambito della "Scuola Veneziana" nel corso del Rinascimento.

Il metodo di lavoro adottato prevede lo studio comparato di fonti originali, sia di natura compositiva che teorica, con i quali compensare la mancanza d'indicazioni esecutive dirette a livello di notazione. Tra i vari trattatisti attivi a Venezia in quell'epoca (Gaffurio, Fogliani, Lanfranco, Aaron ecc.), si è preferita l'opera di Gioseffo Zarlino (1517-1590) che presenta l'evoluzione del pensiero di uno dei musicisti più completi (teorico, compositore ed esecutore) e significativi e che riporta indirettamente, attraverso le risposte alle critiche mossegli nelle varie controversie sorte in seguito alla pubblicazione, le posizioni di altri importanti pensatori.

Le Istituzioni Harmoniche (1558), le Dimostrationi Harmoniche (1571) e i Sopplimenti Musicali (1588) contengono proposte di natura teorica, psicologica (ethos dei vari Modi, semantica degli intervalli, ecc.), pratica, (participazione o suddivisione del comma secondo l'accordatura che sarà definita "naturale") ed esemplificativa (brani nei dodici Modi), che sono state assunte come materia di base per l'indagine.

Accordatura naturale e temperamento equabile

All'epoca della pubblicazione dei lavori di Zarlino già da decenni fervevano le dispute (spesso ricollegabili all'antica ostilità di natura sociologica tra musici "teorici" e "pratici pulsatori" (1)) sulla questione della suddivisione

(1) Cfr. quanto scrive Giovanni Spataro nel 1524 a Pietro Aaron, in una importante lettera che riprenderemo più avanti: "... li organi, Arpichordi, violoni, et altri instrumenti de la mano de li artefici prodotto (prodotti) non sono

dell'ottava e sui problemi ad essa conseguenti, primo fra tutti quello dell'esecuzione d'insieme con strumenti di natura e temperamento diversi.

La discussione (e, verosimilmente, l'uso di accordature naturali oppure "quasi"-temperate) era iniziata quanto meno verso la fine del '400, quando (1482) Bartolomeo Ramis assai esplicitamente, intitolava la sua opera Musica Practica (2), e aveva progressivamente coinvolto i massimi compositori dell'epoca, come Adriano Willaert che nel 1524 aveva scritto il famoso duo dimostrativo "Quid non ebrietas", che non si era rivelato eseguibile sui cembali (accordatura naturale), ma solo sui "violoni" (la cui tastatura portava ad una sorta di temperamento equabile "pratico") (3).

Con il passar degli anni però la distinzione Teorico/Prattico si fa sempre meno consistente, anzi sono gli strumentisti ad essere vienpiù tenuti in consi

(segue nota 1)

superiori al teorico, nè etiam dano regola al musicista speculativo: ma che el musicista è quello che dà regola, et limita tutti li instrumenti prodotti dal l'arte (,) non sono stato contento con quello che li pratici pulsatori predetti (mediante li soi instrumenti) hanno detto et predicato" (vedi /1/ e /2/, pag.22). Ancora Zarlino ricorre frequentemente a locuzioni come "Dicono li Prattici" ecc.

(2) Questo atteggiamento si può collegare alla più generale tendenza rinascimentale all'empirismo e alla revisione critica del bagaglio di nozioni ereditato dai teorici precedenti. Una serie di date e titoli sarà comunque sufficiente a dare la cronaca del dibattito. Nel 1482 appunto B.Ramis pubblica il De Musica Tractatus sive Musica Practica, cui nel 1487 N. Burzio risponde con Nicolai Burtii parmensis, musices professoris ac juris pontificii studiosissimi, musices opusculum incipit cum defensione Guidonis Are tini adversus quendam hyspanum (il Ramis era spagnolo) veritatis Prevaricationem. La polemica continua tra G.Spataro (... Johannis Spadarii in musica humillimi professoris eiusdem musices ac Bartolomei Rami pareie eius praceptoris honesta defensio in Nicolai Burtii parmensis opusculum, 1491 e Errori de Franchino Gaffurio da Lodi ... subtilmente demonstrati, 1521) e F.Gaffurio rispettivamente allievi dei due precedenti (De Harmonia Musorum Instrumentorum, 1518, nel cui L. II, cap. XXXIV, si legge "Hinc falso arbitratus est B.Ramis Hyspanus ecc.).

(3) Nella citata lettera del 1524, G.Spataro scrive: "Messer Adriano (...) aveva mandato un Duo a la beatitudine de papa Leone: el quale Duo finiva in septima: et diceva che li cantori de sua beatitudine non lo poterno mai cantare: ma che fu suonato con li violoni (...)".

derazione (1) e ad arrivare a scrivere dei trattati. E' proprio in queste opere che si trovano le indicazioni che meglio ci possono dare l'immagine della molteplicità e compresenza di prassi diverse.

Dopo la Fontegara (1535) e la Regola Rubertina (1542), il virtuoso di flauto e viola Sylvestro Ganassi nella Lettione Seconda (1543) insegnava specificatamente il "Modo di accomodarsi a curtar el manico con l'artificio" nel caso che ad accompagnare la viola ci sia qualche strumento ad intonazione più acuta.

La presenza di un temperamento equabile "pratico", in uso fin dall'inizio del Cinquecento è confermato per esempio dalle lamentele di N. Vicentino: "Dall'inventione delle viole d'arco, et del liuto fin hora sempre s'ha sonato con la divisione de i semitonii pari, et hoggi si suona in infinitissimi luoghi" (sott. nostra) e mette ben in evidenza anche quelle che sono le principali conseguenze derivate da questa scelta: "ove che nascono due errori, uno che le consonanze delle terze, et in certi luoghi delle quinte non sono giuste; et l'altro errore è quando tali stromenti suonano con altri stromenti, che hanno la divisione del tono partito in due (2) semitonii, uno maggiore, et l'altro minore (,) non si incontrano, di modo che mai schiettamente s'accordano quando insieme suonano" (L'antica musica ridotta alla moderna prattica, 1555, V, cap. LXVI).

-
- (1) Strumenti e strumentisti vengono progressivamente ricordati (ed effigiati) con stima da Tinctoris, Virdung, Aaron ecc., mentre cominciano a comparire sintomi di critica nei confronti del teorizzare astratto. Della difficile scelta tra teoria (antica) e pratica anche Zarlino è perfettamente consci, anzi riconosce che le proporzioni "che ora usiamo non sono quelle della divisione teorica" (cap. 41). Ma dopo aver mostrato (cap. 42) "quel che si dee osservare nel temperare, ouero accordare gli Intervalli di ciascuno Instrumento, artefiziale moderno" difende (cap. 43) le proprie scelte, dando la "dimostrazione dalla quale si può comprendere che la mostrata Partizione, o Distributione (cioè suddivisione dell'ottava), sia ragionevolmente fatta, et che per altro modo non si possa fare".
- (2) La presenza sugli organi e simili di tasti divisi in due porzioni è confermata per es. da V. Galilei: "Il liuto ha diviso il Tuono in parti uguali, et lo Strumento di tasti l'ha in parti disuguali separato" (Dialogo della musica antica e della moderna, 1581, p. 47) elemento che viene considerato un difetto: "Puossi ancora da questo che sin qui abbiamo detto chiaramente conoscere, quanto più si allontani dalla perfettione lo Strumento di tasti,

Zarlino (Sopplimenti musicali, p.220), replicando alle critiche di V.Galilei suddivide gli strumenti esistenti in "stabili" (organi, cembali, ecc.) e "alterabili" (trombone, viola, ecc.) e tra i due pone:

"Gli Istrumenti da Fori et da Chorde, che si possono alterare, si possono chiamare di mezana qualità tra gli uni e gli altri. Laonde tenendo la loro temperatura et il loro uso cotal Qualità, dirò anco, che mezanamente si posso no accomodare".

Tra le possibilità manuali di modificare l'intonazione il liutista può "col dito (viene ad) alterar le corde ch'e'i tocca, ... facendola ad un tratto un poco più grave o un poco più acuta" oppure spostare i tasti di frazioni minime o ancora tirare o allentare la corda con i piroli. E anche il flautista può modificare "in tempo reale" la intonazione "o col fiato o con le dita apprendo, o serrando un poco più o un poco meno i fori".

Questa pratica di musica d'assieme "accomodata" (che il Bottrigari, ancora nel Desiderio del 1594, trovava non si potesse fare "se non con gran difficoltà, la quale è prossima alla impossibilità") è d'altronnde confermata da innumerevoli documenti iconografici, fatto che induce a ipotizzare la presenza di accordature anomale per le singole famiglie strumentali e supporre che talvolta gli strumenti a tastiera mobile avessero una accordatura "tirata" verso quella naturale e viceversa (3).

(segue nota 2)

che non fa il Liuto et la Viola; et ancora, quanto male agevolmente (per le male relationi et falsi incontri) possino bene unirsi sonati insieme ne concerti che giornalmente accaggiono" (sott.ns.).

(3) Sempre nella Lettione Seconda Ganassi suggerisce di spostare un po' il secondo tasto (in corrispondenza del rapporto di 9/8, cioè di un tono intero "grande") e si rifà per l'accordatura delle Quinte alla pratica in uso per gli organi: "come da questo semo acertadi da l'Organo et da l'Istrumento e di tenir alcune quinte più basse cioè alquanto scarse de la sua vera intonatione" (cap. IV). Anche V.Galilei lamenta che la "Distributione di Aristosseno (cioè il "temperamento equabile")sonata nel Liuto, et maggiormente nello Strumento di tasti, le Terze et vi è più le Decime maggiori udire si fanno poco grate" (Discorso ... intorno all'opere di Messer Gioseffo Zarlino da Chioggia, 1589, p.127). Dalla parte opposta Lanfranco da Terenzo vuole esplicitamente tentare di applicare le sue idee, assai vicine al temperamento equabile ("le Quinte vanno participate così: che lo estremo

Per avvicinarci a capire come potessero effettivamente andare le cose in tale accavallarsi di posizioni sarà forse d'aiuto tenere presenti due fattori strettamente connessi con gli aspetti psico-acustici dell'ascolto musicale. Il primo è il fenomeno della "correzione" uditiva che, evidenziato fin dal 1764 da Leonhardt Euler, permette di spiegare come l'orecchio senta quello che "vuole" sentire e in pratica equilibri le piccole defezioni del percepito (4) /3/.

Il secondo è l'effetto di feedback prodotto dal contesto musicale (esteso e prolungato) in cui i singoli intervalli si collocano nell'ambito di un pezzo, così che le piccole differenze di accordatura percepibili isolatamente in sede sperimentale /6/, tendono a "reintegrarsi" nel tutto quando entrino a far parte di una dimensione linguistico-espressiva.

Proprio tenendo presenti queste considerazioni la nostra ricerca è stata articolata in tre fasi che mirano rispettivamente alla:

- 1) - realizzazione degli strumenti per una
- 2) - verifica della effettiva percettibilità e per la
- 3) - formalizzazione dei processi esecutivi

tenendo presente da una parte la frequente destinazione didattica dei brani a due voci come quelli da noi impiegati, dall'altra la necessità di far derivare le scelte esecutivo-espressive soprattutto dagli aspetti formali e dalle funzioni strutturali svolte, nella economia di un brano, dalle singole situazioni intervallari.

(segue nota 3)

acuto tenga del Basso: ovvero ch'el grave si faccia più presso allo acuto (...) la Quarta si accorda per lo contrario, perciòché lo suo estremo acuto va tirato in alto (...) lo estremo acuto di ciascuna Terza maggiore va alzata in modo: ch'el senso più non ne voglia (...) ma le Terze minori per lo contrario si accordano" (Scintille di Musica, 1533, IV, p. 132 segg.), proprio a "Monochordi, Organi, et simili".

(4) E questo a maggior ragione se si hanno a mente le condizioni di ascolto del pubblico dell'epoca. N. Vicentino testimonia che: "... nel mezzo delle compositioni lasciano di sonare per accordare li strumenti; allhora l'orechi de gli Oditori restano molto offesi" (L'antica cit., V, cap. LXV).

Allo stato attuale della ricerca è già stato completato il primo punto, realizzando due strumenti (la scala di Zarlino e lo strumento 'ORGANO') indispensabili per la attuazione della seconda fase (attualmente in via di completamento) condotta per mezzo di test percettivi che presentano singoli intervalli, brevi frasi melodiche e più ampi periodi polifonici estrapolati dagli esempi lasciati ci da Zarlino. Tutti gli estratti vengono presentati in esecuzione comparata con scale (zarliniana, temperata) diversamente alternate. Le risposte vengono fornite dai singoli soggetti mediante compilazione di un questionario. L'indagine mira tra l'altro ad appurare la diversa capacità di percepire in relazione alla maggiore o minore frequentazione o pratica di musica del soggetto intervistato /5/ /7/.

Illustreremo ora la realizzazione (attuata in collaborazione con A. Vidolin) tramite Music 5 degli strumenti citati e degli esempi sonori che proporremo all'ascolto.

La scala zarliniana

Una volta reperite le frequenze derivate dalla "Divisione del monocordo Dia-tonico sintono (1) fatta secondo la natura de li numeri sonori" proposta da Zarlino, si è innanzitutto proceduto ad una verifica pregiudiziale della percettibilità (sul piano teorico) delle differenze di intonazione rispetto alla scala temperata.

Tra le altezze che delimitano la estensione degli esempi musicali forniti da Zarlino (Fig. 1) sono stati quindi presi gli estremi del Quarto Modo (due LA, cioè due seste, intervalli assai significativi (in rapporto alla nota di partenza dell'accordatura), caratterizzati da una differenza di 16 cent.).

I risultati del confronto hanno confermato la percettibilità sia nel registro acuto (13,8 Hz) che, verosimilmente, in quello grave, tenuto presente che i va-

(1) La precisazione si riferisce al fatto che il "tetracordo diatonico diafono" impiegava la suddivisione derivata dalla scuola pitagorica e trasmessa da Boezio, mentre quello "sintono" si rifaceva invece alle proporzioni di Dido mo che individuavano già i rapporti di 9/8, 10/9 e 16/15, corrispondenti rispettivamente al tono "grande", "piccolo" e semitono del sistema zarliniano.

lori indicati nelle tabelle di riferimento per la JUST NOTICEABLE DIFFERENCE di Zwicker, Flottorp e Stevens sono stati ottenuti con glissati tra frequenze e che Righini invece offre risultati di test (riferiti a soggetti allenati e praticanti musica) in cui la soglia differenziale del registro grave viene di molto abbassata (Fig. 2).

Il sistema di codifica degli intervalli adottato impiega numeri di tre cifre nei quali la prima indica l'ottava di appartenenza e le altre due uno dei venti gradi in cui tale ottava viene suddivisa nel sistema zarliniano (Fig. 3). Quindi per es. l'indicazione: 504 significa: il quarto grado (do, do[#], re^b, re) nella quinta ottava: cioè il RE scritto sulla quarta linea del pentagramma, in chiave di violino.

Questo sistema permette, con la semplice sostituzione di poche istruzioni (per es.: ponendo i rapporti intervallari di Lanfranco al posto di quelli di Zarlino) la esecuzione con scale diverse delle partiture messe in memoria.

Le partiture attualmente memorizzate sono le trascrizioni degli esempi musicali nei dodici Modi che Zarlino pone nella Quarta parte delle Istituzioni Harmoniche. Del lavoro di trascrizione dei brani si dà un esempio nella Fig. 4, che riporta la prima riga della voce superiore del Terzo Modo. I campi della nota riportano in prima colonna l'istante di attacco, in seconda il numero dello strumento, in terza la durata metrica ed in quarta la frequenza espressa in codice secondo la forma sopra indicata.

Lo strumento 'ORGANO'

Per eseguire le partiture si è realizzato uno strumento mirante alla simulazione del timbro di un organo. Tra i criteri seguiti nella scelta di tale strumento, che fra l'altro era uno dei principali "arnesi" di lavoro di Zarlino a San Marco, vi è il fatto che esso è uno degli strumenti "artificiali" (a differenza della "naturalità" della voce umana), caratterizzato dalla appartenenza (nella tripartizione strumentale sopra citata) alla famiglia degli strumenti "stabili". Altri elementi in favore del "tipo" organo sono stati la estensione dei vari esempi nei dodici Modi (vedi Fig. 1), il fatto che esso offre la migliore percezione della altezza (avendo la possibilità di tenere le note tanto

quanto prescrive la relativa durata metrica) e la stabilità in frequenza (tutte "qualità" queste che invece, come abbiamo visto, rendevano a quell'epoca lo strumento problematico quando si trattava di fare musica d'assieme). L'organo "per sua natura" offre infine la possibilità di variare i timbri (i "registri") e quindi permette di verificare se la percettibilità subisce delle modificazioni dovute a colorature sonore differenziate /4/.

Lo strumento 'ORGANO' impiegato per realizzare gli esempi che ascolterete è frutto di una serie di prove sperimentali. E' costituito (Fig. 5) da tre oscillatori ad onde sinusoidali (che danno rispettivamente: fondamentale, seconda e terza armonica) pilotati dalla funzione F11 (Fig. 6). I tempi di attacco, tenuta e decadimento delle tre frequenze, leggermente differenziati, sono raffigurati in Fig. 7.

Attualmente sono in fase di realizzazione diverse "colorature" timbriche, miranti ad ottenere sonorità più vicine a quelle antiche (tipo "regale", per esempio) impiegando funzioni differenziate per pilotare oscillatori non più ad onde sinusoidali, ma con particolari esaltazioni in corrispondenza dei primi armonici dispari.

Si è infine notato che per evitare l'impressione di "meccanicità" esecutiva era necessario fare (progressivamente e automaticamente) aumentare di un tasso determinato la durata del suono rispetto alla durata metrica (renderlo cioè più "portato") man mano che l'ambito si sposta verso il registro acuto.

A livello timbrico invece la sensazione di non "naturalezza" è stata risolta introducendo un tasso di stonatura nello strumento, sfasando di poco le armoniche rispetto ai rapporti numerici "puliti". Tale tasso, che avrebbe potuto contribuire negativamente alla corretta percezione delle altezze, è stato comunque tenuto molto al di sotto (circa la metà) dei valori minimi della soglia (reperibili nelle citate tabelle di Zwicker ecc.). C'è da chiedersi cosa accadeva invece con gli organi antichi, con i quali non solo non erano possibili controlli di questo genere, ma che erano sensibili alle più varie influenze, comprese quelle meteorologiche.

BIBLIOGRAFIA

- /1/ J.S.LEVITAN: Adrian Willaert's Famous Duo, in "Tijdschrift der Vereeniging voor Nederlandsche Muziekgeschiedenis", XV, 1939, pag. 175.
- /2/ E.E.LOWINSKY: Adrian Willaert's chromatic "Duo" re-examined, in "Tijdschrift der Vereeniging voor Nederlandsche Muziekgeschiedenis", XVIII, 1956, pp. 1 segg.
- /3/ J.HANDSCHIN: Der Toncharakter, Eine Einführung in die Tonpsychologie, Zurigo, 1948.
- /4/ A.BACHEM: Tone height and tone chroma as two different pitch qualities, "Acta Psychologica", vol. 7, pp. 80-88, 1950.
- /5/ S.S.STEVENS & H.DAVIS: Hearing, Wiley, New York, 1952.
- /6/ W.D.WARD & D.W.MARTIN: Psychophysical comparison of just tuning and equal temperament in sequences of individual tones, "J.Acou. Soc.Am.", 33, pp. 586-588, 1961.
- /7/ R.PLOMP: Experiments on tone perception, Institute for Perception, RVO-TNO, Soesterberg, The Netherlands, 1966.
- /8/ F.ATTNEAVE & R.K.OLSON: Pitch as a medium: a new approach to psychophysical scaling, "Am.J.Psycol.", 84, pp. 147-165, 1971.

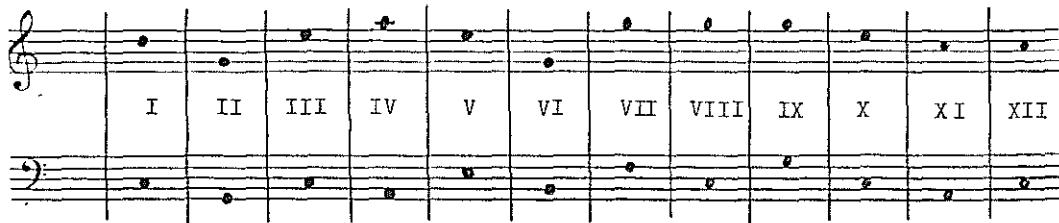


Fig. 1 . Estremi di estensione nei diversi Modi.

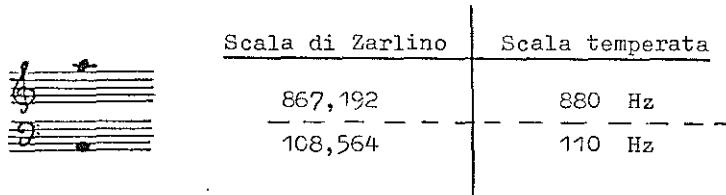


Fig. 2 .

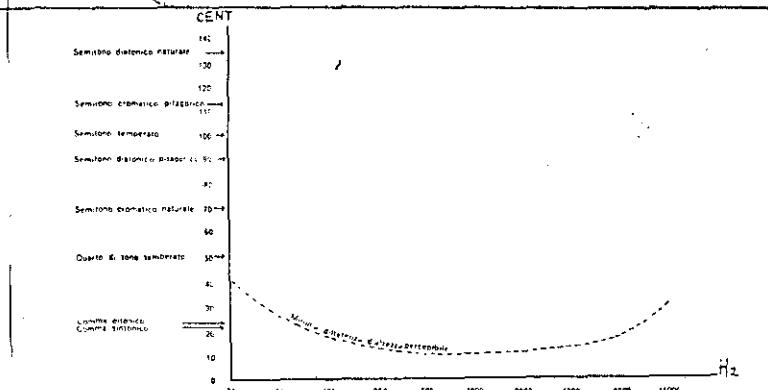


fig. 2 Da : " P. Righini, L'acustica per il musicista

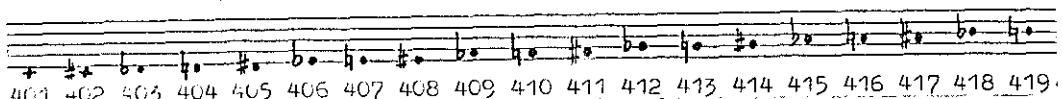


Fig. 3 .

quali lascio di nominare, per non esser lungo. Li vers & naturali Principj di questo
modo sono nelle chorde D, F, a & d; similmente le sue Cadenze regolari; come
nel seguente esempio si vedono.



VDT	0	9	2	404	60.1
VDT	2	9	1	404	54.3
VDT	3	9	1	404	56.2
VDT	4	9	1.5	416	60.1
VDT	5.5	9	.5	413	48
VDT	6	9	.5	416	
VDT	6.5	9	.5	419	
VDT	7	9	1.5	501	60.1
VDT	8.5	9	.5	419	42
VDT	9	9	.5	416	
VDT	9.5	9	.5	413	
VDT	10	9	.5	410	48
VDT	10.5	9	.5	407	48.2
VDT	11	9	1.5	416	54.1
VDT	12.5	9	.5	413	42
VDT	13	9	.5	410	
VDT	13.5	9	.5	407	
VDT	14	9	1	410	48
VDT	15	9	1	404	54.2

Fig. 4

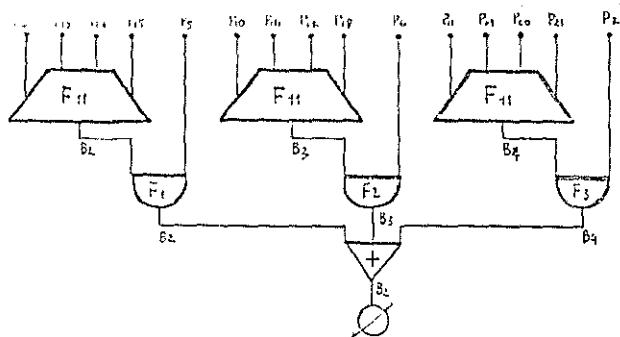


Fig. 5 . Lo strumento 'ORGANO'

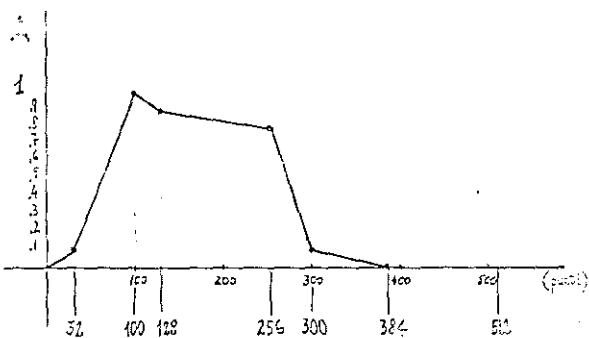


Fig. 6 . F 11 (inviluppo)

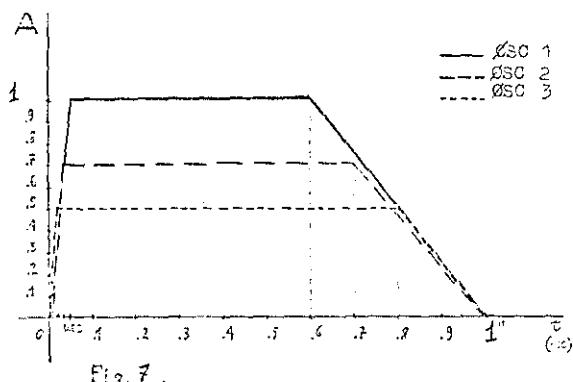


Fig. 7 .

IL SISTEMA PER LA SINTESI DEL SUONO IN CORSO DI REALIZZAZIONE
PRESSO L'ISTITUTO DI ACUSTICA "O.W. CORBINO" + C.N.R. ROMA +
P. Borruso, P. Giua, G. Nottoli, S. Santoboni

Recentemente presso l'Istituto di Acustica di Roma si è iniziato un programma di ricerca che riguarda l'analisi e la sintesi del suono applicata alla composizione musicale.

Il primo problema preso in considerazione ha riguardato la scelta del metodo di sintesi da adottare in rapporto sia alle strutture già esistenti presso l'Istituto sia, e soprattutto, al senso che si è voluto dare alla ricerca.

Si trattava di scegliere un metodo che fosse il più generale possibile e che potesse essere usato sia per la produzione di composizioni musicali sia per la ricerca in campo psico-acustico, ques'ultima strettamente legata alla composizione.

Dopo una attenta riflessione e varie esperienze preliminari la nostra scelta è caduta sulla sintesi additiva. Tale metodo è senz'altro quello concettualmente più semplice fra i tanti oggi adottati nei vari laboratori dove si affrontano analoghi problemi.

Il metodo consiste nel generare il suono controllando l'evoluzione temporale delle componenti spettrali per quanto riguarda i parametri frequenza e ampiezza.

Ciò può essere espresso con la formula (bibl.I):

$$X(n) = \sum_{k=1}^N A_k(n) \sin \left\{ nT [\omega_k + 2\pi f_k(n)] + \alpha_k \right\}$$

dove:

$X(n)$ è il segnale al tempo nT

T è l'intervallo di campionamento

n è un intero

$A_k(n)$ è l'ampiezza della k -esima armonica

$\omega_k = 2\pi k f$ è la pulsazione corrispondente alla k -esima armonica

$f_k(n)$ è la deviazione in Frequenza della k -esima armonica

α_k è la Fase iniziale della k -esima armonica

Questo metodo consente una estrema libertà per quanto riguarda la determinazione di tutti i parametri del suono. E' virtualmente possibile generare qualsiasi timbro senza alcuna restrizione.

Per contro questo metodo presenta alcuni svantaggi anzi tutto di ordine pratico: per ottenere un risultato di complessità accettabile è necessaria una grande quantità di calcolo che si traduce in lunghi tempi di attesa a scapito dell'interattività fra operatore ed elaboratore. Questa difficoltà sussiste però soltanto quando si effettuino i calcoli necessari interamente via software. E' possibile costruire una periferica capace di eseguire tutta la parte ripetitiva dei calcoli ad altissima velocità fino a permettere l'esecuzione in tempo reale (bibl.2).

La difficoltà più grande, però, è di altro ordine e riguarda da vicino il pensiero musicale.

Il compositore è abituato da sempre ad organizzare strutture musicali utilizzando oggetti sonori complessi già pronti : i suoni strumentali. La sintesi additiva non offre nulla di pronto: tutto è da costruire. Con i metodi di sintesi basati sulla distorsione non lineare (bibl.I), modulazione di frequenza ecc, il compositore ha a disposizione alcuni parametri di controllo, come ad esempio l'indice di modulazione nelle tecniche FM (bibl.3), che gli consentono di variare entro un vasto campo di possibilità lo spettro dell'onda risultante. Le componenti parziali si evolvono obbedendo a leggi intrinseche al particolare metodo adottato: è possibile intervenire sugli effetti, ma sempre restando all'interno del campo di possibilità offerto.

Il musicista si trova di fronte ad uno "strumento" preorganizzato: in una situazione quindi vicina a quella tradizionale anche se più vasta. La possibilità di organizzare la struttura interna è proprio ciò che di più interessante il mezzo elettronico può offrire al compositore: ma organizzare significa organizzare in modo coerente all'idea musicale.

Occorre cioè un legame coerente tra la macrostruttura di un lavoro e la microstruttura. In sostanza è necessario conservare la possibilità di costruire l'evoluzione del materiale secondo un principio arbitrario, così come secondo un principio arbitrario si costruisce una forma. È stata scelta la sintesi additiva proprio per mettere in condizione il compositore di creare egli stesso le leggi di evoluzione del materiale come parte integrante dell'atto compositivo.

Tali leggi determinano le relazioni microstrutturali del lavoro. La microstruttura scende quindi al livello del suono stesso.

Con questo metodo ogni singola struttura musicale trova la sua particolare risposta.

Con quali metodi però creare questa leggi?

E' possibile creare un metodo generale da cui poi desumere i casi particolari?

Rispondere a questi interrogativi è lo scopo della nostra ricerca.

Il programma di lavoro da noi adottato si svolge su tre punti:

I°) la ricerca in campo psico-acustico che dovrebbe condurre alla formulazione di leggi coerenti alla realtà percettiva;

2°) la realizzazione di un sistema costituito da una combinazione hardware e software che consenta all'operatore di creare strutture conote complesse modificando i parametri di controllo in maniera interattiva;

3°) la sperimentazione diretta in campo compositivo: al momento attuale si opera sul singolo caso trovando le soluzioni di esigenze composite particolari.

In questo modo si cerca di creare una casistica da cui trarre delle conclusioni in base alle quali poter passare ad una generalizzazione..

DESCRIZIONE DELLE APPARECCHIATURE UTILIZZATE

Tutte le apparecchiature fanno capo ad un elaboratore elettronico Digital PDP II (fig. 1). Esso si compone di una CPU modello II/04, di una memoria centrale di 32 K e di numerose periferiche, alcune standard ed altre appositamente progettate e costruite presso l'IDAC. Sono periferiche standard la consueta Decwriter (TT) un secondo terminale (VT) dotato di graphic video display e hardcopy, quattro convertitori digitali analogici a 12 bit, un convertitore analogico digitale a 12 bit dotato di un multiplexer a 16 ingressi e le memorie di massa, costituite da due diskette da 256 Kbyte ciascuna (DX) e da due dischi rigidi da 5 Mbyte ciascuno (DK). Le periferiche appositamente costruite sono un orologio programmabile, per la generazione delle frequenze di campionamento ed interrupt e un insieme di latch e multiplexer digitali che, utilizzando per il collegamento con l'unibus dell'elaboratore una interfaccia digitale standard a 16 bit, ne estendono l'impiego permettendo il collegamento fino ad otto utenze diverse.

Nella figura ne sono state rappresentate quattro: il su menzionato orologio programmabile, due convertitori analogico digitali a 10 bit (anch'essi realizzati presso l'IDAC) utilizzati per pilotare un registratore X,Y e un sintetizzatore di suoni funzionante in tempo reale.

Tale sintetizzatore, la cui realizzazione è prevista in un prossimo futuro, sarà la versione hardware del metodo di sintesi software ora utilizzato.. Ovvero da un altro punto di vista si può dire che l'attuale metodo di sintesi software è una perfetta simulazione dell'apparecchiatura hardware che si intende realizzare. Effettivamente questo secondo punto di vista è esattamente quello che ha dato luogo ai criteri che hanno condotto alla concezione del software utilizzato per ottenere la sintesi del suono.

In tal modo si ritiene che le limitazioni che discendono dagli inevitabili compromessi cui si deve sottostare quando si concepisce un dato sistema di sintesi saranno in futuro ampiamente compensate dalla possibilità di avere un sistema hardware, funzionante in tempo reale, concepito operativamente in modo perfettamente analogo.

Le altre apparecchiature utilizzate sono di tipo elettroacustico e trattano i segnali analogici di uscita e di ingresso dell'elaboratore elettronico..

Vengono correntemente utilizzati due registratori magnetici a nastro da 1/4" a due e a quattro tracce indipendenti, due mixer a 5 ingressi,due attenuatori calibrati a passi di 1 dB, 4 amplificatori di potenza e 4 sistemi di altoparlanti opportunamente collocati in una saletta di ascolto trattata acusticamente.

E' in fase avanzata di costruzione una consolle che contiene stabilmente i suddetti mixer e attenuatori, 4 preamplificatori di

segnale e 4 potenziometri per ottenere tensioni continue di riferimento. Per quanto riguarda l'impiego del registratore a 4 piste esso viene spesso impiegato in modo particolare quando si vuole ottenere la sincronizzazione di segnali prodotti in tempi successivi dal computer e inviati su piste diverse. In questi casi si provvede ad incidere su una delle 4 tracce un segnale sinusoidale di frequenza pari a quella di campionamento che si vuole utilizzare. Si fa quindi scorre il nastro in lettura su tale pista e in registrazione su un'altra delle tre rimaste disponibili. La frequenza fissa di campionamento, opportunamente squadrata in un circuito trigger, viene utilizzata come frequenza di interrupt per l'elaboratore, al posto del normale clock. In questo modo, per successivi passaggi, è possibile avere fino a tre segnali contemporanei perfettamente (campione per campione) sincronizzati tra loro.

DESCRIZIONE DEI PROGRAMMI UTILIZZATI

La struttura del software attualmente disponibile è stata progettata tenendo conto delle caratteristiche di massima semplicità e flessibilità necessarie in questo primo periodo di lavoro.

La sintesi del suono avviene attraverso tre fasi ciascuna delle quali utilizza un programma specializzato:

- I) determinazione delle leggi di generazione del materiale e preparazione della partitura
- 2) sintesi dei campioni
- 3) uscita audio

I) Compito del primo programma è la costruzione di una partitura operativa a partire da informazioni che gestiscono la variazione temporale dei parametri di controllo assegnati a leggi arbitrarie che governano la generazione del materiale.

Attualmente si risolve un problema compositivo scivendo una nuova versione del programma in linguaggio FORTRAN.

Questo MAIN "specializzato" utilizza una libreria di sottoprogrammi orientati verso la costruzione di strutture musicali.

Il continuo aggiornamento di questa libreria con l'aggiunta di nuovi moduli di impiego generale nati da necessità particolari, dovrebbe permettere la "generazione spontanea" di un nuovo linguaggio.

2) E' un programma che genera i campioni con una sintesi additiva sulla base dell'imput costituito dalla partitura operativa.

Utilizza una subroutine che simula, mediante il software, un sintetizzatore digitale hardware che rappresenta lo sviluppo futuro del sistema in termini di velocità di calcolo (fino al tempo reale) e possibilità di colloquio interattivo.

Nella versione attuale permette di sommare le uscite di fino a 128 oscillatori sinusoidali con un controllo indipendente ~~one~~ dei parametri ampiezza frequenza e fase.

Le oscillazioni sinusoidali della (I) sono generate utilizzando la tecnica del "table look-up": (fig.2) una forma d'onda sinusoidale viene memorizzata in un array; si legge poi l'array in maniera circolare con un passo variabile. La frequenza di oscillazione dipende dal passo secondo la relazione (bibl.4):

$$\text{STEP} = \frac{F_o * AL}{Fc}$$

dove:

F_o = frequenza (Hz)

AL = lunghezza dell'array (campioni)

Fc = frequenza di campionamento (Hz)

STEP = passo (campioni)

I parametri frequenza e ampiezza sono controllati da integratori digitali (fig.3) che consentono una riduzione dell'informazione utilizzando un valore costante per generare una rampa; la subroutine riceve quindi in ingresso la derivata delle funzioni di controllo..

I campioni così calcolati vengono salvati direttamente in un file su disco oppure, a scelta, addizionati al precedente contenuto del file permettendo così realizzazioni ed ascolti parziali.

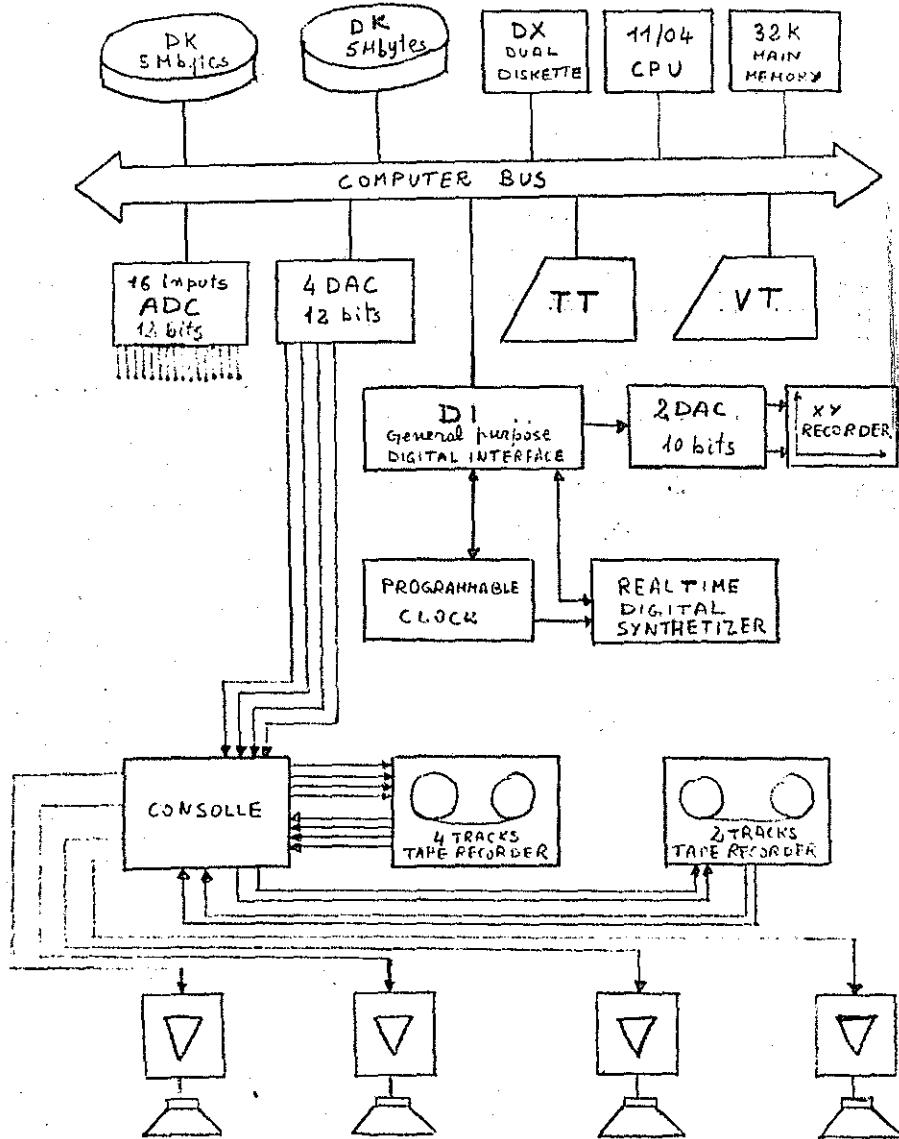
3) Trasferisce i campioni dalla memoria di massa verso il convertitore digitale-analogico con un intervallo di campionamento costante controllato da un orologio programmabile quarzato. Il trasferimento viene eseguito con la tecnica del doppio buffer: mentre i campioni vengono inviati da uno dei buffer al convertitore, l'altro viene caricato con i campioni provenienti da un disco; il processo viene invertito al termine della conversione di tutti i campioni contenuti in un buffer.

Questa tecnica è utilizzata dai programmi di sintesi più diffusi (bibl.4)

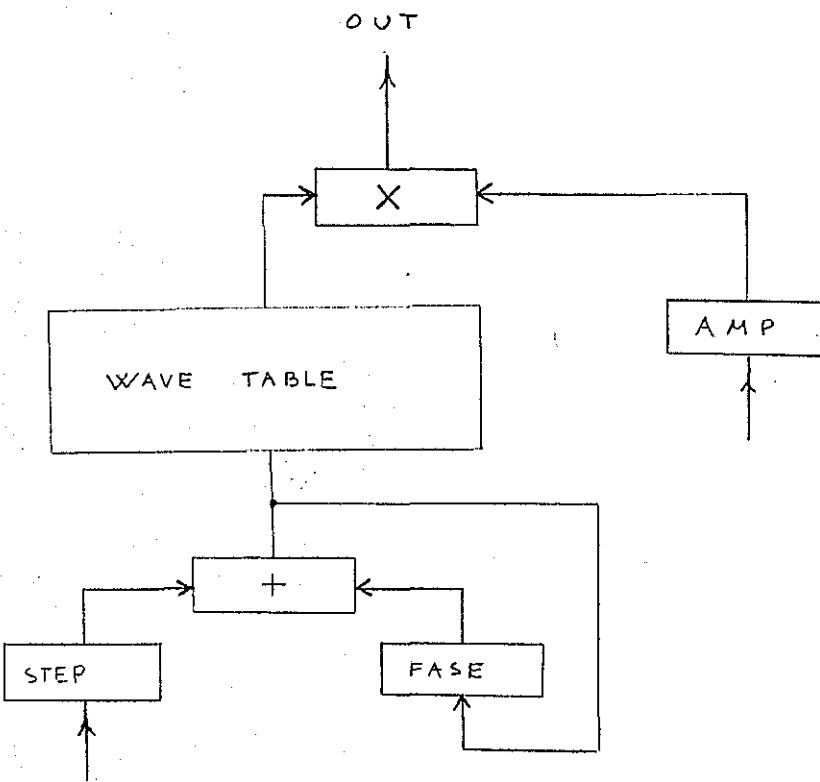
in quanto consente di effettuare una conversione ad intervalli di tempo rigorosamente costanti anche se i dati da convertire arrivano da un supporto di massa alla memoria centrale ad una cadenza irregolare.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Vito Asta: tecniche di sintesi per la musica elettronica. Memoria presentata al Convegno AIA, Ivrea ottobre 1978
- 2) H. Alles G. Di Giugno: A one-card 64 channels digital synthesizer.
Computer Music Journal, vol.2 n.4
- 3) J.M.Chowning: the synthesis of complex audio spectre by means of frequency modulation.. JAES, vol.21 n.7 September 1973
- 4) Max Mathews: the technology of computer music. Boston 1969



oscillatore virtuale



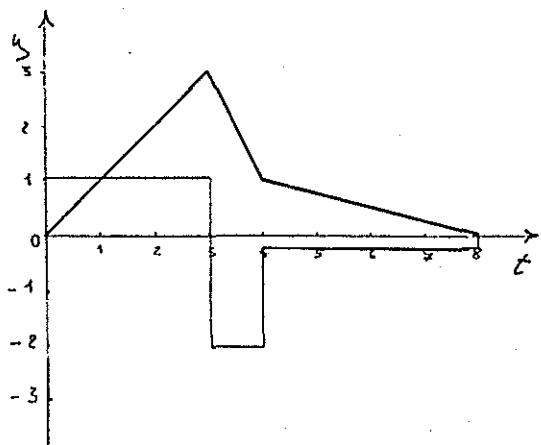
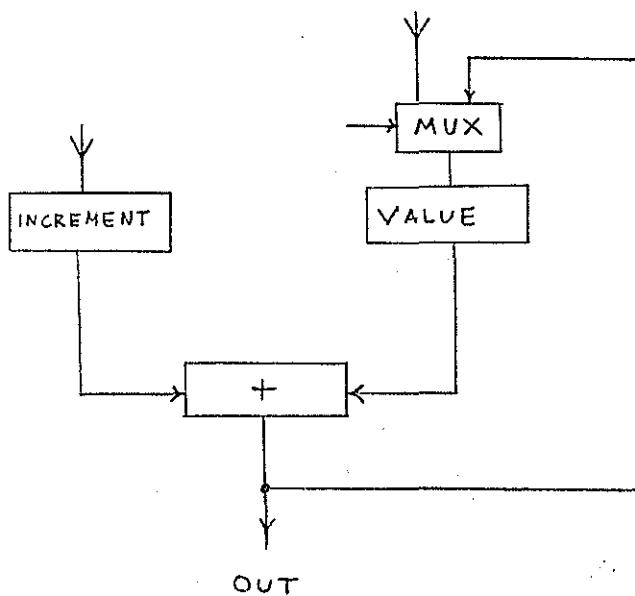
$$STEP = \frac{f_0 * FL}{F_C}$$

FL = lunghezza della wave table (campioni)

F_C = Frequenza di campionamento

f₀ = Frequenza (Hz)

Integratore digitale



ALCUNE MACRO IN M360 PER LA ELABORAZIONE, LA RIVERBERAZIONE E
LA SPAZIALIZZAZIONE STEREOFONICA DI SEGNALI PRECEDENTEMENTE
MEMORIZZATI SU NASTRO O SU DISCO

M.GRAZIANI - G.PATELLA

Conservatorio C.Pollini - Padova

Il programma di sintesi Music 360, realizzato da B. Vercoe al M.I.T. e disponibile presso il Centro di Calcolo dell'Università di Padova nella versione estesa, si differenzia da altri programmi di questo tipo, in quanto mette a disposizione dell'utente la possibilità di riunire sotto un unico nome qualsiasi sequenza di istruzioni, redatte nel linguaggio M360, per ripetute inserzioni in vari punti della orchestra. Il nome attribuito ad una serie di statements di questo tipo costituisce una Macro-istruzione, la cui rilevanza in un programma orchestra è simile a quella di qualsiasi altra istruzione M360, con la differenza che tale Macro-istruzione è semanticamente più potente. Sfruttando questa importante caratteristica di tale programma sono state realizzate, presso il Centro di Calcolo, alcune Macro di utilità generale destinate alla elaborazione di segnali. L'INPUT utilizzabile può essere una qualsiasi serie di campioni prodotti da Unit Generator posti a monte di tali Macro, oppure generati in precedenza e memorizzati su nastro o disco. L'utente ha quindi la possibilità sia di produrre dei segnali, memorizzarli e rielaborarli in seguito, sia di agire su suoni realizzati in forma analogica e digitalizzati mediante un A.D.C. (convertitore analogico-digitale), operando a livello timbrico e aggiungendo riverbero e spazializzazione stereofonica. Il controllo timbrico viene effettuato mediante la Macro ZGSEL, listata come segue:

ZGSEL &MODE,&NUM,&FREQ1,&NF1,&PH1,&FREQ2,&NF2,&PH2,&INP,&,&AINP=N

Questa Macro genera circuiti come quello illustrato nella figura 1 nei quali la forma d'onda in entrata viene alterata mediante operazioni di somma e moltiplicazione con una seconda forma d'onda fornita da un oscillatore (1) interno alla Macro stessa. Il segnale risultante viene poi modulato in ampiezza mediante l'oscillatore 2. ZGSEL può generare un numero indefinito di circuiti di questo tipo collegandoli sia in serie che in parallelo. Quando ZGSEL viene richiamata nell'ambito di un Programma Orchestra, i parametri simbolici, presenti nella definizione, vengono sostituiti da stringhe o sottoliste che definiscono il valore di ciascun parametro. Nel testo: &MODE e &NUM definiscono rispettivamente il numero di circuiti da generare ed il loro output; &FREQ1,&FREQ2,&NF1,&NF2,&PH1 e &PH2 controllano rispettivamente la frequenza, il numero della funzione e la fase degli oscillatori 1 e 2 (se i circuiti generati sono più di uno, questi parametri simbolici sono ovviamente rimpiazzati da sottoliste); &INP, &, &AINP definiscono il tipo di input, la sua ampiezza e l'uso, se necessario, di un ri scalamento interno alla Macro. Richiamando ZGSEL nel modo seguente:

ZGSEL (OUT, OUT), 2, (FREQ, FREQ) etc.

vengono automaticamente generati due circuiti collegati in parallelo mediante un sommatore (figura 2).

I collegamenti in serie vengono invece effettuati usando l'output di un circuito come input per il successivo:

ZGSEL (IN, OUT),... (figura 3)

Applicando al circuito base (Fig. 1) un INPUT di tipo sinusoidale di frequenza S e chiamata S1 la frequenza dell'oscillatore 1, il segnale in uscita avrà 3 componenti di frequenze S-S1,S+S1, 2S.

La seconda Macro realizzata, prende il nome di ZGREAD

ZGREAD &REV, &BAL, &STR, &INIT=YES, &INSNR=1, &P\$START=4, &PS=20, &INP=READ

Essa fornisce riverberazione e spazializzazione stereofonica
operando, se necessario, un riscalamento del segnale. Questa
Macro può essere usata come strumento a sé stante o come parte
di un programma orchestra definito dall'utente. In tal caso
&INIT deve essere posto =NO. Le istruzioni per la lettura da
disco o nastro sono interne e vengono attivate solo se &INP =
= READ. La riverberazione viene ottenuta mediante il circuito
REVERB, annesso al Music 360, mentre la spazializzazione stereo
fonica è generata da un'altra Macro-istruzione (ZGSTR) che per
mette di definire il tipo di spostamento desiderato mediante
una funzione, o di bloccare il suono in un punto preciso fra
gli altoparlanti. I valori di riverberazione e spazializzazione
scelti dall'utente vengono passati al calcolatore mediante una
serie di P-campi, listati automaticamente a partire dal P-campo
&P\$START (Default = P4), oppure fissati in modo definitivo dal
l'utente mediante sotto liste.

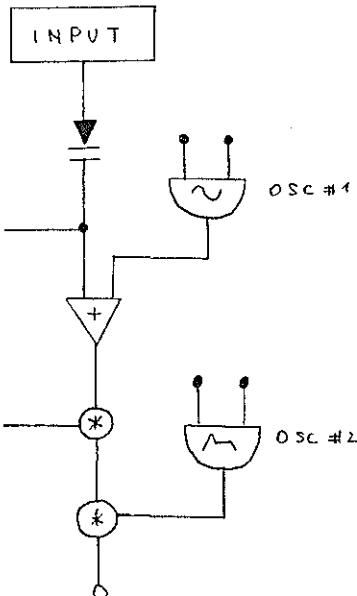


fig. 1

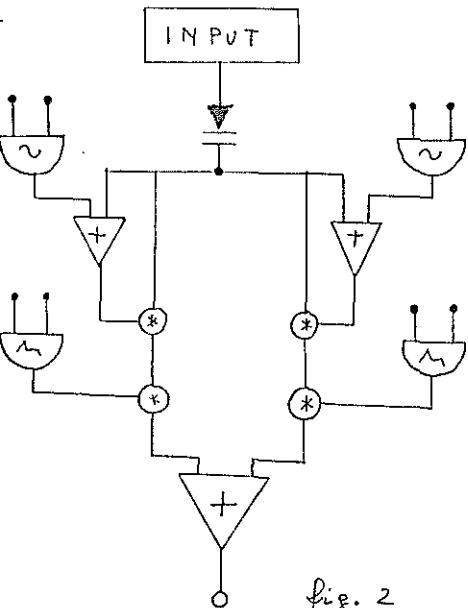


fig. 2

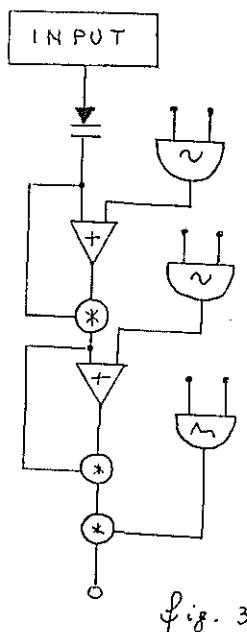


fig. 3

NAME=	ZGREBD	000003110 000003020 000003120 000003030 000003050 000003160
LIBRARY=	MEDIT	000003070 000003080 000003090 000003100
PROGRAM=	M.GRAZIANT & G.A.PATELLA 1970	000003110 000003120 000003130
FUNCTION=	RIVERBERAZIONE E SPAZIALIZZAZIONE STEREO DI SEGNALE	000003130
	PREFERENTEMENTE IDENTIFICATI SU NASTRO E/O DISCO.	000003120
	LA MACchina PUO' ESSERE USATA COME STRUMENTO A SE' O COME PARTE DI UNA ORCHESTRA.	000003130 000003160
SYNTAX=	ZGREBD REV,BAL,STR,INIT,INSNR,PSTART,PS,INP	000003150 000003160
OPERANDS=	RICHIESTI REV BAL STR DEFUALT(S)= INITYES1 INSNR111 PSTART16 PS120 INPREDEF	000003170 000003180 000003190 000003200 000003210 000003220 000003230 000003240
REV	PUO' VALERE ALTERNATIVAMENTE: YES= IL SEGNALE E' RIVERBERATO, SCAMPI A PARTIRE DA PSTART NO = RIVERBERAZIONE INIBITA SOTTOLISTA NELLA FORMA (REVTYPE,ISTORI)	000003250 000003260 000003270 000003280 000003290
BAL	PUO' VALERE ALTERNATIVAMENTE: YES= IL MONOLO-BALANCE RIPORTA L'AMPLESSA DEL SEGNALE AL LIVELLO PRECEDENTE LA RIVERBERAZIONE. NO = -BALANCE- INIBITO	000003300 000003310 000003320 000003330
STR	PUO' ASSUMERE TRE VALORI: YES, NO, -SOTTOLISTA- YES= IL SEGNALE E' SPAZIALIZZATO IN STEREO NO = -STEREO- INIBITO SOTTOLISTA TIPO (PN1,PN2,NE,PH,FREQ) IN CUI- PN1= RANGE MAX. DI SPOSTAMENTO STEREO. CON NE=0 , PH=PUNTO 000003340 IN CUI IL SEGNALE E' PISSO. 000004100 PN2= RANGE MINIMO DI SPOSTAMENTO STEREO. 000004110 NE= NUMERO DELLA FUNZIONE CHE CONTROLLA LO SPOSTAMENTO 000004120 PH= FASE DELLA FUNZIONE -NE- 000004130 FREQ= FREQUENZA DI SPOSTAMENTO. SE POSITIVA FREQ= SECONDI 000004460 SE NEGATIVA FREQ= Hz 000004490	000003350 000003360 000003370 000003380 000003390
INIT	YES E' FATTA INIZIALIZZAZIONE CON TAPEIN,TAPEOUT NO SI DEVE FAR E' INIZIALIZZAZIONE. DEFAULT -INITYES1-	000004470 000004480 000004490

PSHSP	NUMERO DELLO STRUMENTO, DEFABILE =NSNR11=	00000500
PSEACT	NUMERO DEL -PCARD= DI PARTENZA DELLA LISTA,DEFINIT. 4	00000510
PS	PSAVE, DEFAULT PSE201	00000520
TIP	SELEZIONA LETPUT DA NASTRO O DISCO O DA QM1 SIASI PUNTO DEL PROGRAMMA, DEFALTI TIPADE= LETPUT DA NASTRO O DISCO	00000530
ESEMPIO=	//TEST JOB (XXXX,TSAL1,OPR1,TIME1 //SETUP IT // EXEC MUCARD,M=ESERPTD //CARD DD * TREAD YES,YES,YES ENDIN ENDRDR END // EXEC MUCARD,M=NOTE //CARD DD * *****.NOTE & FUNZIONI..... ***** // EXEC MDA1,M=NOTE,D=ESERPTD,R=PROVA //DD,FT00F001 DD DSNAME,UNIT=TAP16,VOL=SER=.,NNASTRD.., // LABEL=F1,NL),DCB=(RECFM=F,PLKSIZE=307201,DISP=L,KEEP) /* LE ULTIME DUE SCHEDE IN QUESTO ESEMPIO DEFINISCONO IL FILE DF100003780 CAMPIONI MEMORIZZATI SUL NASTRO --NNASTRD-- AL -LABEL=--. 000003780 00000740 00000750 00000760 00000770 00000780 00000790 00000790 00000800 00000810 00000820 00000830 00000840 00000850 00000860 00000870 00000880 00000890 00000900 00000910 00000920 00000930 00000940	00000540
	L'ESPANSIONE DELLA MACRO ZGREAD È--	00000550
	ORCH DECLARE M01MSH2 TAPIN ---- F TAPEOUT ---- INSTR 1 PSAVE (3,201 REV REVERB SEGNALI,P4,P5 BAL BALANCE REV,SEGNALI TGSTR P6,P7,P8,P9,P10 DUT DUT,(CH1,CH2)	00000560
	E CAMPIONI SONORI PRODOTTI SONO MEMORIZZATI SU DISCO CON IL NOME -PROVA--.	00000570
		00000580
		00000590
		00000600
		00000610
		00000620
		00000630
		00000640
		00000650
		00000660
		00000670
		00000680
		00000690
		00000700
		00000710
		00000720
		00000730
		00000740
		00000750
		00000760
		00000770
		00000780
		00000790
		00000800
		00000810
		00000820
		00000830
		00000840
		00000850
		00000860
		00000870
		00000880
		00000890
		00000900
		00000910
		00000920
		00000930
		00000940

	MACRO		00000010	
	ZREAD	ARPV,ARPAE,ASTR,REMIT=YES,AMONRP=1,XPSTART=4,XPS=20,XPEND=20,XP0000010	00000010	
		INPREAD	00000010	
	LCIA	RA,AB,AC	00000040	
	LCIC	ABT,ABH,ARPCD	00000050	
	LCIL	AB,ABH,ABM1,ABM2	00000060	
8A	SETA	ASTART	00000020	
	ATF	(ASTRT=EQ *PREDEF),RE	00000100	
	ATF	(ASTRT=EQ *YES1),JK	00000100	
	PRIM	NOGEN	00000100	
	DRCH		00000100	
	ATF	EXASTA=EQ *NO1),JS	00000100	
	DECLARE	INCWLS=2	00000100	
	ANDP		00000100	
	TAPIN	FT08FO01,TAFCI=30720,SAMPLE=(1,16,TC1)	00000100	
	TAPOUT	FT08FO01,TAFCI=30720,SAMPLE=(1,16,TC1)	00000100	
	PNOTE	*,* TAPIN FT08FO01 = TAPOUT FT08FO01*	00000100	
JK	ANDP		00000100	
	INSTR	&INSNR	00000100	
	PSAVE	(3,8PS)	00000200	
READ	READIN	I	00000200	
JK	ANDP		00000200	
AM	SETC	PATHP	00000200	
	ATF	(TSPREV=EQ *YES1),M1	00000200	
	ATF	(TSPREV=EQ *NO1),M2	00000200	
ANF	SETC	FAREVE1*	00000200	
AN	SETC	FAREVE(2)*	00000200	
REV	REVERB	AM,ANF,AN	00000200	
	PNOTE	*,* REV	00000200	
	REVERB	AM,ANF,AN	00000200	
	AGD	*M3	00000200	
AM1	ANDP		00000300	
AB	SETA	AM1	00000300	
REV	REVERB	AM,PA1,PAR	00000300	
	PNOTE	*,* REV	00000300	
BA	SETA	BB+1	00000300	
AB3	ANDP		00000300	
AM	SETC	PATHP	00000300	
M2	ANDP		00000300	
	ATF	(TSPBAL=EQ *NO1),M4	00000300	
AN	SETC	PATHP	00000400	
BAL	BALANCE	AM,AN	00000400	
	PNOTE	*,* BAL	00000400	
AM	SETC	BALANCE	AM,AN	00000400
M4	ANDP	*BAL*	00000400	
	ATF	(ASTR=EQ *YES1),M5	00000400	
	ATF	(ASTR=EQ *NO1),M6	00000400	
	SETC	ASTR(1)*	00000400	
ANP1	SETC	ASTR(2)*	00000400	
ANP2	SETC	ASTR(3)*	00000400	
ANF	SETC		00000400	

APM	SFTC	FASTP141*	00000620	
APM2	SFTC	FASTP141*	00000610	
	AGD	*M*	00000520	
*MS	AMDP		00000530	
SPH1	SFTC	FRPA1	00000540	
AA	SFTA	AA1	00000550	
SPM2	SFTC	FRPA1	00000560	
AA	SFTA	AA1	00000570	
AMF	SFTC	FRPA1	00000580	
AA	SFTA	AA1	00000590	
APM	SFTC	FRPA1	00000600	
AA	SFTA	AA1	00000610	
AEREO	SFTC	FRPA1	00000620	
*MT	AMDP		00000630	
	ZGSR	APM1, SPM2, &NF, &PH, &PPEO	00000640	
WNOTE	*, *	ZGSTP	APM1, APM2, SNC, &PH, &PPEO	00000650
	DUT	SMF, 4+1NPF, 6, (CH1, CH2)	00000660	
WNOTE	*, *	DUT	SMF, 4+1NPF, 6, (CH1, CH2)*	00000670
	AGD	*M*	00000680	
*M6	AMDP		00000690	
	DUT	SMF, 6+1NPF, 6	00000700	
WNOTE	*, *	DUT	SMF, 6+1NPF, 6*	00000710
*MR	AMDP		00000720	
	MEND		00000730	

*
* RESPONSIAPTE M. CRAZIAU - FEB 1979
* MACRO ZSEL = ALTERA LA FORMA SINUSOIDALE IN ENTRATA MEDIANTE SOMMA
* E' MULTIPPLICATRICE CON UNA FORMA SINUSOIDALE FORNITA DA UN OSCIL INTROD
* DIVIDE CIRCUITO DI QUESTO TIPO COLLEGANDO IL PARALLELO A IN SERIE
* ALLA ZONE ANODES MINORE PER OGNI CIRCUITO (IN 0 OUT)
* WS XE6 ANODE MINORE DI CIECHETI IL SUO MODE E' OUT
* WS XE6 APRIORI= FREQUENZE DEGLI OSCILLATORI DI DISTORSIONE
* WS XE6 ANTE PRIMER FUNZIONI PER GLI OSCILLATORI SUBNETTI
* WS XE6 APREQ1= FREQUENZA DEGLI OSCILLATORI PER LA MODULAZIONE DI AMP.
* WS XE6 APREQ2= NUMERO PUNTO PER GLI OSCILLATORI SUBNETTI
* WS XE6 APREQ3= FREQUENZA DEGLI OSCILLATORI SUBNETTI
* WS XE6 ATMP= TIRIPI
* WS XE6 XAMP= AMPIZZA OTTIMALE DI ATMP
* WS XE6 XATMP= DEVE CONTENERE LA MAX. AMPIZZA DI ATNP SE SI DESIDERÀ
* WS XE6 CHE QUESTO SIA RISCALATO
* WS XE6 I DATI FORNITI IN APREQ1 E APREQ2 DEVONO ESSERE IN S.I.
* WS XE6 XATMP= TIRIPI

MACRO
ZSEL : SHODE,ANUM,APREQ1,ANF1,APH1,APREQ2,RNP2,APH2,ATNP,XAMP,ANP00000210
MP,ATNP=HD
GBLA ATF
LCLA AN
LCLC ANF,ANF,APH
LCIC ATP,ANP,AN
ZTF SETA ATF+1
AN SETC *ATNP&ZE*
APRAZT VAL SAMP
ATP (*3ATNP*) FO INDI1,SK1
MNOTE *,* *****
MNOTE *,* XATMP IS RESCALDED
VAL APRAZT/ATNP
INPAZT VAL ATNP*U
AGO SK2
SK1 ANOP
INPAZT VAL ATNP
SK2 ANOP
MNOTE *,* *****
MNOTE *,* XATNP CALLED INPAZT WITHIN THIS MACRO!
LOOP ANOP
AN SETA AN+1
AFR SETC *APREQ1(AN)*
ANF SETC *ANF1(AN)*
APH SETC *APH1(AN)*
ATP SETC *ANOP(AN)*
MNOTE *,* *****
MNOTE *,* CIRCAN!
MNOTE *,* ANODE FOR CIRCAN IS ATP

OSCL1	AMP2Z,AMP1,AMP,CRF	000006500
NOTE: 6,1 INPUT TYPE OSCL1 AMP2Z,AMP,CRF,AMP IN CIRCAN*	000006510	
VAL	00045150	000006520
NOTE: 6,1 INPUT FOR CIRCAN IS AMP	000006530	
ATE	(ATPL TO INPUT),SRC	000006540
VAL	(AMP2Z+ANUM)/2000	000006550
AM	SETC 15&7EAN	000006560
ACD	.5K4	000006570
SER	AND	000006580
ZFR	SETC *AMP2Z(AN)*	000006590
ZHR	SETC *AMP2(AN)*	000006600
ZPH	SETC *AMP2(AN)*	000006610
OSCL1	1,5V,AMP,AMP	000006620
NOTE: 6,1 INPUT TYPE OSCL1 1,5V,AMP,AMP FOR AMP. MOD. IN CIRCAN*	000006630	
AM	SETC 15&7EAN	000006640
AA	SETC *5A4SERANT	000006650
.5K4	ANDR	000006660
SER,AN	VAL 024UE	000006670
NOTE: 6,1 OUTPUT FROM CIRCAN IS SERANT	000006680	
ATE	(IN LT. MODE).LOOP	000006690
SIGATE	VAL .8A	000006700
NOTE: 6,1 INPUT FROM CIRCAN IS SIGATE	000006710	
NOTE: 6,1 INPUT IS SIGATE VAL .8A	000006720	
NOTE: 6,1 INPUT IS SIGATE VAL .8A	000006730	
MEND		000006740

HARDWARE PER SCOPI MUSICALT: LINEE DI TENDENZA

Goffredo Haus - Istituto di Cibernetica - Università di Milano

La produzione di componenti elettronici a livello di integrazione sempre più alto tende a soddisfare le seguenti esigenze:

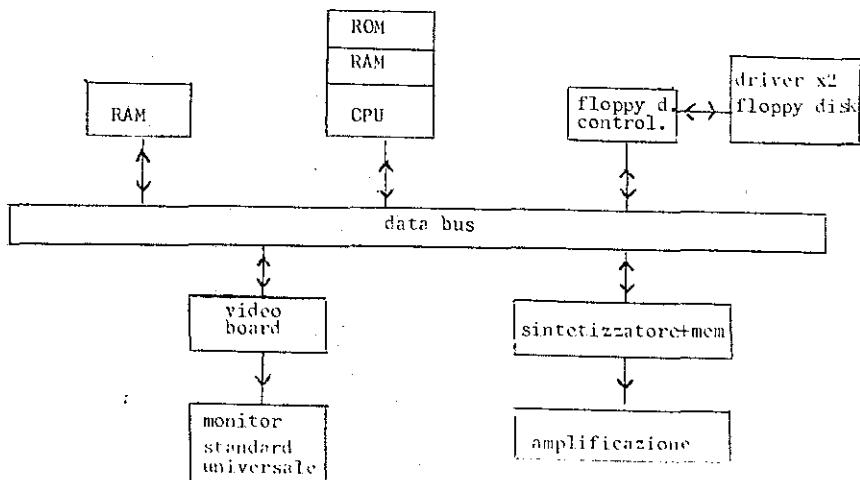
- a) riduzione dei costi dell' H/W;
- b) riduzione delle dimensioni dell' H/W.

E' possibile individuare tre principali classi di sistemi di elaborazione di diverse dimensioni, costi e prestazioni:

- a) grandi sistemi di elaborazione, che ben si prestano ad applicazioni di analisi musicologica che richiedono la gestione di banche di dati di grande dimensione;
- b) sistemi di elaborazione medio/piccoli, eventualmente collegati a grandi sistemi, per applicazioni di tipo misto (analisi/sintesi);
- c) sistemi personali, anche portatili, per la sintesi e la manipolazione di testi musicali ed eventualmente anche per l'esecuzione sonora di testi musicali.

Questa terza fascia di sistemi di elaborazione, i personal computers, è in via di continuo sviluppo e muove dalla introduzione nel mercato dei componenti a microprocessore.

Un personal computer ha una architettura molto semplice:



Delle varie parti che concorrono a formare un sistema di sviluppo vale la pena di ricordare che molta importanza ha lo standard del data bus ovvero con quali componenti è possibile connettere un data bus particolare senza la necessità di una apposita interfaccia; a questo proposito molti costruttori hanno adottato lo standard S 100 (INTEL, ZILLOO, ecc.).

Per quanto riguarda i componenti più specificamente musicali posso ricordare che esistono diverse piastre per la sintesi del suono (tutte di produzione statunitense) di diversi costi e prestazioni, alcune dotate anche di software musicale.

Di queste posso ricordare i nomi dei costruttori presso cui chiedere documentazione: Solid State Music, Logistics, Alf Products, E Systems, Micor, New England Digital, Sequential Circuits, Texas.

Tra le varie piastre in costruzione una merita particolare attenzione: la piastra SB-1 della Solid State Music a cui è associato il package MUS-X1; questa piastra è quella che offre le migliori e più ricche possibilità di manipolazione del suono ed inoltre il S/W è un eccellente interprete che permette il controllo di 8 piastre SB-1 e per ogni suono permette il controllo di inviluppo, forma d'onda e livello sonoro; il suo costo sul mercato americano è di \$200 in kit; è distribuita in Italia da Computeria; inoltre è in corso presso la SGS-ATES di Agrate uno studio per valutare se produrre un integrato che sostituisca la piastra!

Data l'eccezionale velocità con cui questo tipo di mercato evolve mi limito quindi ad indicare alcune riviste su cui è possibile reperire con continuità informazioni aggiornate sull'argomento: Computer Music Journal (USA), Creative Computing (USA), Personal Computing (USA), Byte (USA), Interface (NL) ed Electronic Design (USA).

L'avvento di questi sistemi personali è chiaro che rivoluziona lo accesso al mezzo di elaborazione sia per questioni di costi che per ragioni logistiche; è quindi prevedibile a breve termine un'invasione di personal computer anche tra i musicisti!

SINTESI DEL CANTO MEDIANTE PREDIZIONE LINEARE

G.A. Mian , G. Tisato

Il metodo di sintesi dell'italiano messo a punto presso l'Istituto di Elettronica e di Elettronica dell'Università di Padova utilizza un "vocabolario" costituito da circa 150 segmenti elementari ("difoni" o "diadi") di caratteristi che normalizzate per intensità, altezza e durata, mediante la cui concatenazione è possibile sintetizzare in forma monotona ma molto intelligibile, qualsiasi messaggio in lingua italiana [1-2]. Utilizzando per la rappresentazione di detti segmenti i parametri di un modello autoregressivo (predittore lineare) del processo di fonazione [3, 4], è possibile ridurre drasticamente la quantità di memoria necessaria per la loro memorizzazione rispetto ad una rappresentazione in termini di campioni della forma d'onda digitalizzata: si passa infatti da una occupazione di memoria complessiva di circa 200 k-bytes, per una codifica ad 8 bit ed una frequenza di campionamento di 10 kHz, ad una occupazione inferiore ai 16 k-bytes.

Contemporaneamente, l'impiego di una rappresentazione parametrica consente di sfruttare la flessibilità della rappresentazione stessa per migliorare la qualità della sintesi, introducendo in essa i fattori soprasegmentali trascurati nell'impostazione originale del programma di lavoro.

Gli esperimenti di sintesi del canto effettuati hanno avuto lo scopo di provare sperimentalmente la fattibilità di quest'ultimo punto. La sintesi è stata effettuata a partire da una trascrizione manuale della partitura musicale, modificando durata ed altezza dei segmenti utilizzati per la sintesi, secondo quanto richiesto dalla partitura stessa. I primi risultati ottenuti sono stati soddisfacenti ed hanno, inoltre, consentito di mettere in luce le limitazioni principali della procedura seguita, segnatamente la necessità di aumentare la frequenza di campionamento (rispetto al valore usato di 10 kHz) per migliorare la definizione della evoluzione dell'altezza e la necessità di trovare procedure soddisfacenti e veloci per risolvere il problema dell'interazione in uno stesso fonema fra altezza e valore delle frequenze formanti. È attualmente allo studio una procedura che consenta di risolvere questi problemi e che consenta di sperimentare la utilizzazione della f.d.t. del tratto vocale, associata ai vari fonemi, quale strumento musicale.

Bibliografia

- [1] Francini G., Debiasi G.B., Spinabelli R.: "Study of a system of minimal speech reproducing units for Italian", J.A.S.A., 43, 1282-1286, Apr. 1968.
- [2] Debiasi G.B.: "Voce sintetica dagli elaboratori o per gli elaboratori?", L'Elettrotecnica, 54, 373-378, Giugno 1977.
- [3] J. Makoul: "Linear prediction: a tutorial review", Proc. IEEE, 63, April 1976.
- [4] Mian G.A., Offelli C., Morgantini F.: "An application of the linear prediction technique to efficient coding of speech segments", Proc. 1976, IEEE ICASSP, 722, Philadelphia, April 12-14 1976.

ANALISI DI UNA PROCEDURA PER LA REALIZZAZIONE DI UNA COMPOSIZIONE MEDIANTE SINTESI DIGITALE.

(di LORETO PAPADIA)

INTRODUZIONE

Un compositore che voglia servirsi della sintesi digitale, e che non intenda dedicarsi alla compilazione di programmi specifici alle sue esigenze, si trova a dover fare innanzitutto una scelta per quel che riguarda il programma musicale e la tecnica di sintesi da usare.

Per questo occorre decidere la combinazione più efficace, e di conseguenza il problema prende la seguente impostazione: dato un programma standard per la musica e dato una tecnica di sintesi del suono, come arrivare a produrre il materiale sonoro e ad organizzarlo nella forma musicale voluta.

L'uso congiunto di questi due elementi base apre tutta una specifica area di sperimentazione, poiché al momento attuale non esiste una grande esperienza a questo proposito, e quindi non si può disporre ancora di metodi sistematici per l'applicazione pratica.

Il programma musicale può essere considerato come l'intermediario tra la volontà compositiva e le possibilità tecniche offerte dal calcolatore elettronico. Tuttavia, per quanto un programma voglia essere comprensivo del più elevato numero di capacità e di funzioni, esso resta pur sempre uno strumento standard con una flessibilità limitata e vincolata ad una particolare esperienza di lavoro.

Le tecniche di sintesi, che si occupano più direttamente della generazione del materiale, sono ad uno stadio di prima sperimentazione e non esistono ancora dei sistemi organizzativi per il controllo del materiale. E' solo dopo l'acquisizione di un codice di possibilità sonore che si può parlare di vera e propria composizione musicale, prima di questo fare una composizione non è possibile ed esiste invece un lavoro di ricerca sui modi di produzione e di organizzazione del suono. Questo lavoro viene svolto a tutti i livelli, in primo luogo a quello microstrutturale e tende inevitabilmente a

trasformarsi in studio scientifico e tecnico. A mio parere il rischio più frequente per il musicista è proprio quello di fissarsi in questo sconfinamento ed a pensare la musica più in termini matematici e tecnicistici che altro.

A partire da questa considerazione ho impostato il lavoro di ricerca in un'analisi e uno studio sistematici delle microstrutture del suono che conserva il carattere di un lavoro di organizzazione di elementi musicali. Questo permette di mantenere sempre una stretta relazione con la percezione da parte dell'orecchio e con i significati psico-culturali dei suoni che vengono presi in considerazione.

IL MUSIC5, LA FM, I MODULI SPEGTRALI

In questo caso si parla del programma musicale MUSIC5 usato in combinazione con la tecnica di sintesi a modulazione di Frequenza. Da questa combinazione ha avuto origine il sistema del modulo microstrutturale, il quale vuole essere un'impostazione di metodo per la pratica compositiva mediante sintesi digitale.

Il MUSIC5 è un programma molto potente e relativamente semplice da usare, ma si basa su di una struttura di unità generatrici e di istruzioni per l'immissione dei dati abbastanza rigida.

La FM è una tecnica di sintesi agile, capace di produrre spettri molto ricchi ed offre anche la possibilità di controllo sull'andamento dinamico di questi spettri. Questa tecnica di sintesi è però ancora tutta da sviluppare ed è per ciò molto facile perderci proprio dietro la sua ricchezza.

Quindi per lo sfruttamento ideale di questi due elementi combinati e il superamento delle difficoltà derivanti, ho pensato di usare gli spettri semplici e armonici della FM come moduli microstrutturali da comporre in forme più complesse e manovrarli usando la istruzione NOT in MUSIC5 per la definizione di ognuno di essi.

In questo modo viene superata l'eccessiva complessità dei suoni FM lavorando con un materiale molto semplice, così come è anche superata la rigidità del MUSIC5 usando le istruzioni NOT come piccoli blocchi da sommare insieme.

Inoltre con questa strategia è maggiormente sfruttata la potenza dei MUSIC5 nella sua capacità di produrre molte note contemporaneamente e con un tempo di calcolo breve.

Una particolarità dell'uso dei moduli spettrali è costituita dal fatto che esso sfrutta esclusivamente le caratteristiche dello spettro generato, senza ulteriori elaborazioni mediante aggiunte di altre unità generatrici oltre a quelle strettamente necessarie allo strumento in MUSIC5 per la sintesi FM.

La tecnica compositiva derivante da questa impostazione di uso del MUSIC5 e della rM è una tecnica di montaggio dei moduli microstrutturali. Si ha quindi una musica di tipo modulare, la quale si differenzia da quella di tipo strumentale in quanto è prodotta dall'interrelazione psicofisica di un certo numero di elementi base che non sono riconoscibili nel loro insieme; qui viene completamente abbandonato il concetto di orchestra.

GLI SPETTRI FM

La ricerca per questo sistema compositivo mi ha portato ad uno studio sistematico degli spettri FM in funzione della possibilità di organizzarli in famiglie secondo le loro caratteristiche fisiche quantitative e qualitative.

I primi esperimenti con la rM hanno rivelato una estesissima gamma di suoni che vanno dagli armonici puri a suoni macrostrutturali estremamente complessi, i quali sono il risultato di sovramodulazioni di ogni tipo. Lo scopo centrale della mia ricerca è dunque quello di arrivare al controllo di tutte le gradazioni di tale gamma spettrale a partire dai parametri F_0 , N_1 , N_2 , I , e cioè gli stessi usati da J. Chowning nel suo noto articolo sugli spettri rM.

Per una prima fase di studio la gamma spettrale è stata suddivisa in tre sezioni: spettri armonici, spettri inarmonici, spettri sovramodulati. Naturalmente la ricerca è partita con gli spettri armonici in quanto costituiscono gli elementi portanti nella costruzione musicale ed anche perché sono quelli più semplici da analizzare. Questi spettri armonici vengono ottenuti in modo controllato mantenendo bassi i valori di I , N_1 , N_2 . Gli spettri sovramodulati invece si possono considerare come risultanti dalla sov-

rapposizione e mescolazione di quelli più semplici, e musicalmente si possono usare come materiale da intessere sugli spettri portanti armonici.

Lo studio degli spettri FM viene svolto su due livelli; nel primo si analizzano sistematicamente gli spettri facendo anche uso della loro rappresentazione grafica prodotta con il programma RFT allestito nel sistema del centro di calcolo di Padova dall'ing. Tisato. Nell'altro livello si ricercano le possibilità e i modi di aggregazione degli spettri per un uso musicale.

Per tutte le prove viene usato lo strumento FM in MUSIC5 riportato nella figura 1 e che è il più semplice di una serie di strumenti FM memorizzati in una libreria del sistema di Padova.

I dati sono immessi nei r-campi delle istruzioni NOT e sono convertiti in campioni da un sottoprogramma chiamato RMCFV creato dall'ing. Vidoian.

RISULTATI E CONSIDERAZIONI

Benché non sia ancora possibile compilare una lista precisa di generalizzazioni sugli spettri FM da includere in un codice organizzato, tuttavia sono state già individuate alcune caratteristiche sul loro comportamento, le quali forniscono sin d'ora elementi utilizzabili per una classificazione di essi.

Accenno qui qualcuna di queste caratteristiche a titolo indicativo e che è facilmente riscontrabile nelle tavole delle fig.2 e fig.3 compilate dopo una prima fase di studio. In queste tavole gli spettri sono raggruppati in base alla somiglianza o identità degli inviluppi spettrali, essi sono inoltre suddivisi in due grandi gruppi a secondo che N_1 sia maggiore o minore di N_2 , e le componenti spettrali di ogni singolo rapporto N_1/N_2 sono riportate sulle frequenze multiple alla F_0 .

La prima cosa si nota che ai rapporti più semplici corrispondono spettri più semplici, e all'interno dei gruppi di inviluppi di questi spettri esiste una maggiore conformità. Poi si può dire che i rapporti aventi lo stesso risultato hanno anche lo spettro identico.

Inoltre nei gruppi di inviluppi è visibile come a valori del risultato di $N_1:N_2$ molto prossimi corrispondano spettri con uguale inviluppo, e cioè hanno una affinità solo quantitativa dello spettro.

La cosa più importante potrebbe essere comunque il fatto che per ogni valore di indice di modulazione è possibile fissare un numero limitato di inviluppi spettrali intorno a 13. Questo numero però non può essere preciso perché tra alcuni spettri esiste una leggerissima differenza e c'è ancora da stabilire il modo più esatto di considerare gli spettri in relazione alla percezione. Inoltre nei rapporti con valori di N1 e N2 più alti gli spettri possono avere piccole variazioni quando cambia anche l'indice di modulazione .

Tralasciando queste ultime particolarità, econsiderando il numero approssimato di 13, si può dire che i rapporti con valori di N1 e N2 inferiori a 10 e con l'indice di modulazione variabile nel tempo, si hanno altrettanti blocchi tridimensionali di inviluppi spettrali dinamici.

Questo può significare che il modo di evoluzione temporale degli spettri rM non è poi molto diversificato se si varia nel tempo solo l'indice, come viene comunemente usato. La possibilità di un arricchimento delle variazioni dinamiche degli spettri FM può venire dall'aggiunta del valore risultante dal rapporto N1/N2 ai parametri già citati. L'importanza di questo valore può essere notata sulle tavole allegate ed è stata verificata nei montaggi in sequenza (fig.5) .

In ultimo vorrei rilevare che non tutti gli spettri armonici hanno lo stesso grado di armonicità, infatti la differente disposizione delle componenti spettrali sulle multiple alla fondamentale ne varia il contenuto armonico. Gli spettri rM sono quindi classificabili anche in base a questo aspetto che è quello qualitativo.

SVILUPPO E CONCLUSIONE

Le tavole qui considerate hanno naturalmente soltanto un valore parziale, ma sono servite già per un primo sistema di montaggi in base alla disposizione delle armoniche esemplificati in fig.4 e fig.5 . Inoltre sono la base per un ulteriore sviluppo di questo sistema di uso della FM per la composizione musicale.

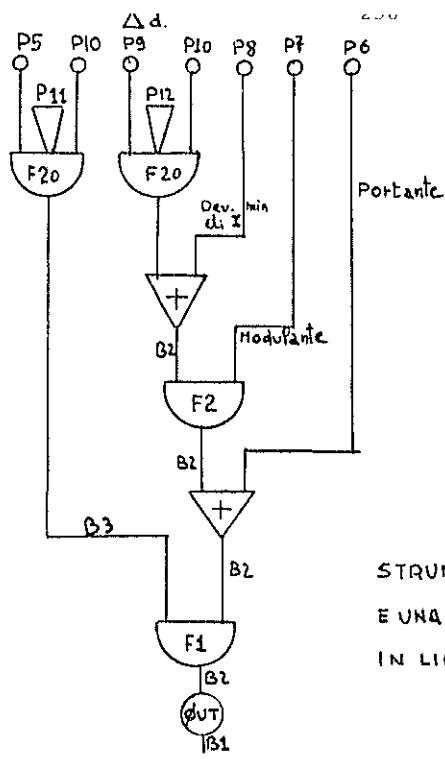
L'insieme di tutte le generalizzazioni e delle osservazioni sulla struttura degli spettri offre uno strumento adatto alla manipolazione organizzata delle loro possibilità combinatorie. Tuttavia soltanto la pratica di questo sistema può completamente condurre alla conoscenza del materiale impiegato e indicare il modo d'uso più adeguato.

Dopo che si sarà arrivati ad un certo livello di conoscenza della tecnica FM si potrà studiare un programma di aiuto alla composizione delle strutture modulari secondo criteri deterministicici o aleatori. Per l'analisi di queste strutture si sta già preparando un programma che permetta di ottenere i grafici raffiguranti gli spettri già combinati.

Un ulteriore sviluppo di questo sistema potrebbe essere la creazione di una tecnica di sintesi adattiva per formanti del suono.

Questa esperienza di ricerca compositiva mette il punto sulla differenza esistente tra il significato di composizione del suono e quello di composizione musicale. In altri termini viene messa in discussione la divisione dei ruoli specifici dello studio della tecnica di sintesi e quello del programma musicale, o di qualsiasi altro lavoro per l'organizzazione di strutture sonore mediante sintesi digitale.

Questo può anche tradursi nel problema delle competenze tra parte tecniche e quella artistica. Un tale metodo compositivo richiede di seguire la strutturazione del suono in tutti gli stadi e in aggiunta al tipo di lavoro impostato sarebbe necessaria anche una interpretazione scientifica delle possibilità organizzative degli spettri FM. Infine penso che una meta' obbligata di questa ricerca è quella di uno specifico programma che superi il MUSIC5 nello sfruttare in modo più efficace le possibilità offerte dagli spettri FM per la creazione dei moduli microstrutturali.



STRUMENTO FM AD UNA PORTANTE
E UNA MODULANTE MEMORIZZATO
IN LIBRERIA COL NOME STFM1

ISTRUZIONE NOT (valori di entrata)

P1 , P2 , P3 , P4 , P5 , P6, P7, P8 , P9 , P10 , P11
NOT , TEMPO DI ATTACCO , NOME STR , DURATA , AMPIEZZA , F_o , N1 , N2 , Indice sin , Indice mx , FA ,

Il sottoprogramma di conversione FM CVT
converte i valori di questi P-campi di entrata
in P-campi d'uscita indicati nello strumento

Fig. 1

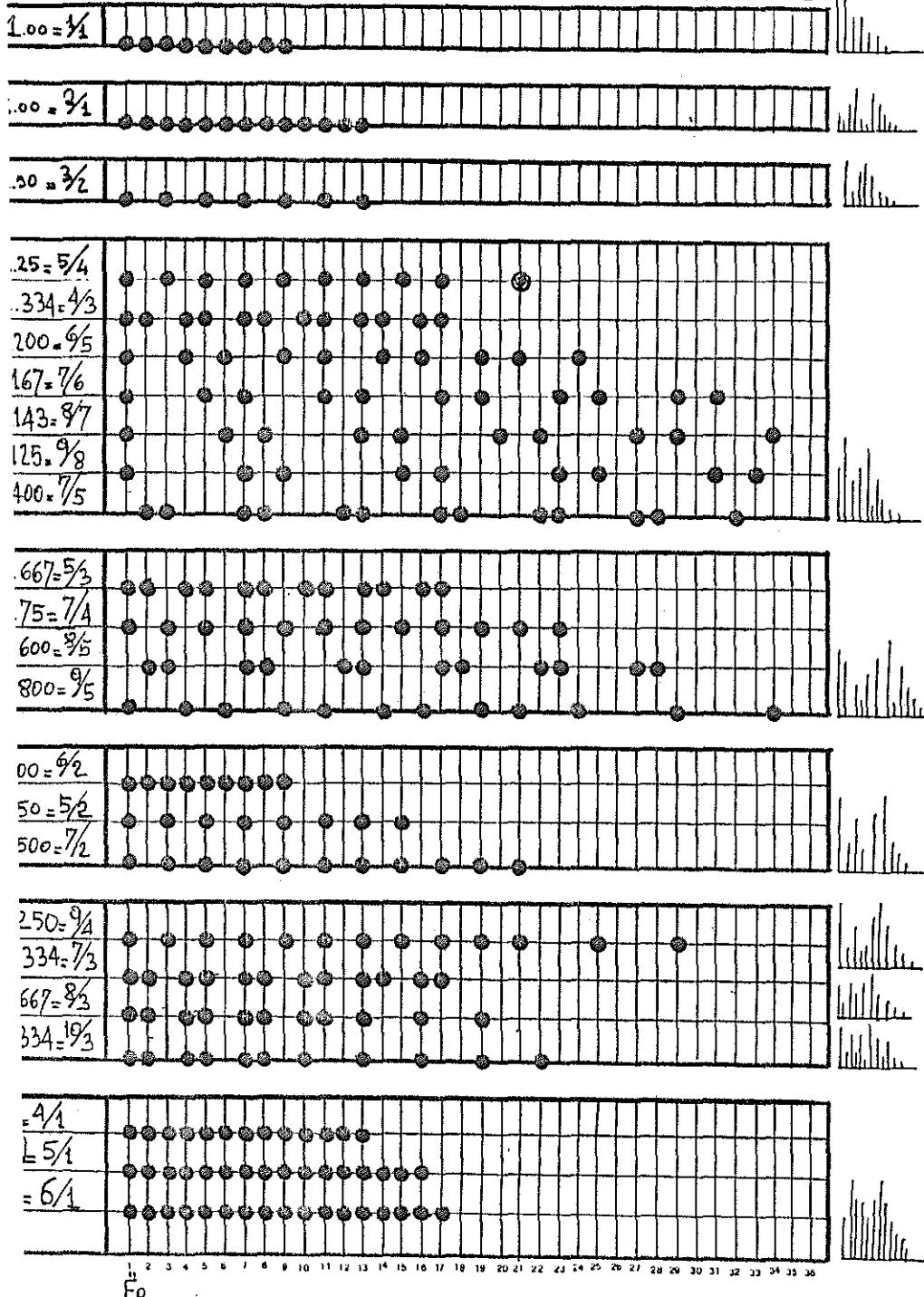


Fig. 2

- 2.10 -

N1 < N2 INDICE # 3

$$.5 = \frac{1}{2}$$

$$.667 = \frac{2}{3}$$

$$.750 = \frac{3}{4}$$

$$.600 = \frac{3}{5}$$

$$.800 = \frac{4}{5}$$

$$.571 = \frac{4}{7}$$

$$.833 = \frac{5}{6}$$

$$.714 = \frac{5}{7}$$

$$.555 = \frac{5}{9}$$

$$.625 = \frac{5}{8}$$

$$.857 = \frac{6}{7}$$

$$.875 = \frac{7}{8}$$

$$.778 = \frac{7}{9}$$

$$.889 = \frac{8}{9}$$

$$.900 = \frac{9}{10}$$

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36

Fo

Fig. 3

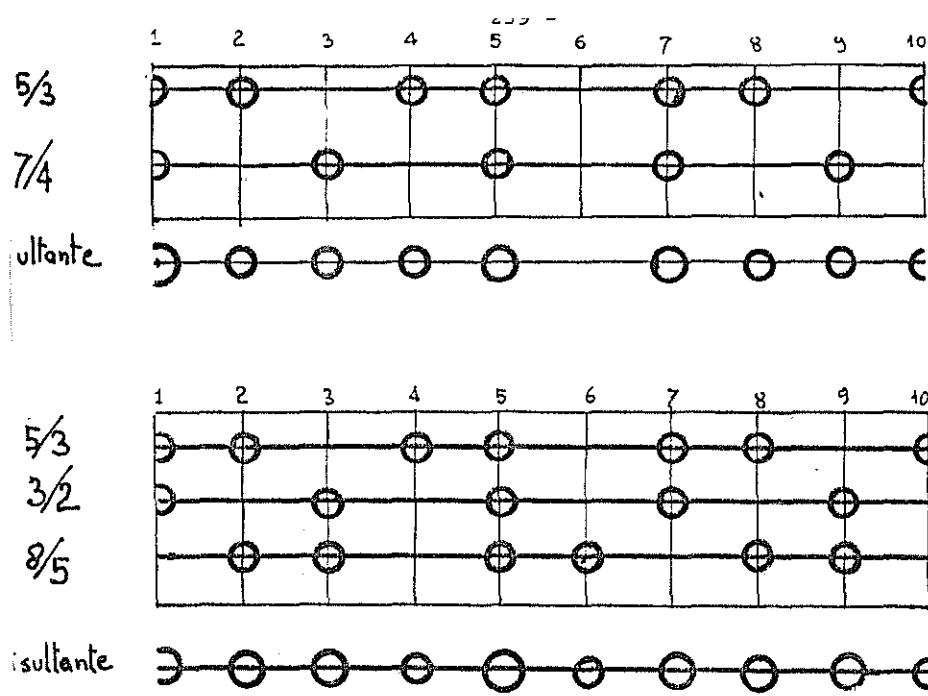
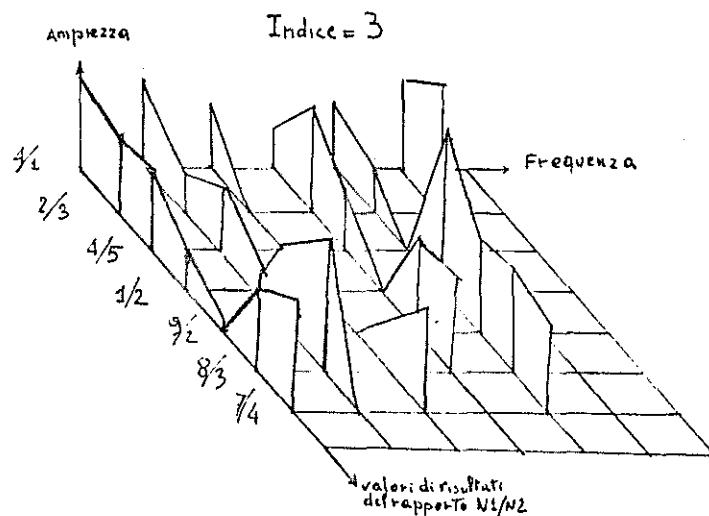


Fig. 4

CONTAGGI DEGLI SPETTRI SIMULTANEI IN BASE ALLA
SPOSIZIONE DELLE COMPONENTI ARMONICHE



SPETTRI COMBINATI IN SEQUENZA CON
I VALORI DI N_1/N_2 VARIABILI NEL TEMPO

Fig. 5

