



**UNIVERSITÀ DI ANCONA
DIPARTIMENTO DI ELETTRONICA E AUTOMATICA**

**ATTI DEL 5° COLLOQUIO
DI INFORMATICA MUSICALE**

13-14 ottobre 1983

ANCONA

**AMI
UNIVERSITÀ DI ANCONA
ISELQUI**

A cura di

**GOFFREDO HANS
GIANNI ORLANDI**



**UNIVERSITÀ DI ANCONA
DIPARTIMENTO DI ELETTRONICA E AUTOMATICA**

**ATTI DEL 5° COLLOQUIO
DI INFORMATICA MUSICALE**

13-14 ottobre 1983

ANCONA

**AMI
UNIVERSITÀ DI ANCONA
ISELQUI**

A cura di

**GOFFREDO HANS
GIANNI ORLANDI**

PREFAZIONE

La scelta dell'Università di Ancona come sede per lo svolgimento del 5° Colloquio di Informatica Musicale non è stata casuale, ma determinata da due fattori concomitanti:

- 1) la presenza nella Regione Marche di un diffuso tessuto produttivo operante nel settore della produzione degli strumenti musicali e dell'elettronica musicale;
- 2) l'esistenza, presso il Dipartimento di Elettronica ed Automatica dell'Università di Ancona, di competenze, a livello internazionale, nel campo delle nuove tecnologie elettroniche digitali e dell'elaborazione numerica dei segnali, che negli ultimi anni sono state orientate anche verso il settore dell'elaborazione di segnali, acustici per l'analisi e la sintesi dei suoni e della voce.

L'incontro di questi due fattori ha già determinato risultati significativi e costituisce una premessa per il superamento delle difficoltà in cui si trovano le aziende produttrici locali e per la riqualificazione della produzione attraverso l'acquisizione e l'utilizzazione delle nuove tecnologie elettroniche e delle metodologie digitali.

La scelta della città di Ancona ed in particolare della sua Università come sede del 5° CIM costituisce dunque, da un lato, il riconoscimento, da parte della comunità scientifica nazionale, del ruolo che possono svolgere le realtà locali, aziende produttrici e Università, nel campo della musica elettronica, dall'altro la testimonianza, da parte di queste realtà, della volontà di proseguire nella direzione intrapresa.

Gianni Orlandi

Docente del Dipartimento di Elettronica e Automatica - Università di Ancona

INTRODUZIONE AGLI ATTI DEL 5° COLLOQUIO DI INFORMATICA MUSICALE

Dopo i precedenti Colloqui di Informatica Musicale ('76, Pisa; '77, Milano; '79, Padova; '81, Pisa) e dopo la 7th International Computer Music Conference ('82, Venezia), la nuova occasione di incontro per la comunità scientifico-artistica della informatica musicale è stata il 5° C.I.M.

Il Colloquio si è articolato in sessioni Scientifiche (Sistemi, Reports, Elaborazione numerica dei segnali, Composizione musicale, Audioterapia, Teoria Musicale, Sociologia e musica) e Sessioni Guidate d'Ascolto.

Questa edizione della manifestazione è stata realizzata grazie alla collaborazione tra l'Associazione di Informatica Musicale Italiana, l'Istituto Elettronico per la Qualità Industriale e l'Università di Ancona, Facoltà di Ingegneria; la sede del C.I.M. è stata appunto l'Università nei giorni 13 e 14 ottobre.

Il programma del C.I.M. è stato preparato in base al lavoro di selezione e di organizzazione del Comitato Scientifico Musicale del 5° C.I.M. costituito da: Antonio Bosetto, Mario Baroni, Giovanni De Poli, Pietro Grossi, Goffredo Haus, Giacomo Manzoni, Gianni Orlandi, Giorgio Nottoli, Aldo Piccialli e Angelo Paccagnini.

La scelta della sede del Colloquio ha avuto in questa edizione un significato particolare: invece che nell'ambiente di un Centro di Ricerca di Informatica Musicale si è svolto nel capoluogo della regione in cui viene prodotta la maggior parte degli strumenti musicali elettronici in Italia. Il significato di questa scelta è stato appunto di favorire il contatto tra il mondo musicale-scientifico e il mondo della produzione industriale per favorire quei rapporti tra ricerca e industria sicuramente necessari per il conseguimento del tanto auspicato rinnovamento tecnologico delle industrie italiane del settore.

Nel quadro di una manifestazione che mostra in ogni sua edizione un livello di crescente professionalità dei suoi partecipanti, è quindi doveroso ringraziare chi ha reso possibile la realizzazione del 5° C.I.M. ad Ancona.

Goffredo Haus

Il Presidente dell'Associazione di Informatica Musicale Italiana

LISTA DEI PARTECIPANTI

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1) AVIO GEMMA | 38) LUPONE MICHELANGELO |
| 2) BOLOGNESI TOMMASO | 39) MACHOVER TOD |
| 3) BORGONOVO A. | 40) MALCANGI MARIO |
| 4) BOSETTO ANTONIO | 41) MARI MICHELANGELO |
| 5) BRESCIA MAURO | 42) MARTINEZ JORGE |
| 6) BRIOSCHI FABIO | 43) MC ADAMS STEVE |
| 7) CAMILLERI LELIO | 44) MELZI GIOVANNI |
| 8) CAPPIELLO CARMELO | 45) MENZIETTI PAOLO |
| 9) CANANZI ANSELMO | 46) MIAN ANTONIO |
| 10) CAPELLI CARLO | 47) MICHI FRANCESCO |
| 11) CENA MECHI | 48) MOSCARDI ENRICO |
| 12) CORGHI AZIO | 49) NOTTOLI GIORGIO |
| 13) COSTANTINI CLAUDIO | 50) OZZOLA VITO |
| 14) COTEMI PAOLO | 51) PERUZZI LUCIANO |
| 15) DANTI PAOLO | 52) PETRARCA S. |
| 16) DASHOW JAMES | 53) PEZZANI ENZO |
| 17) DE BERARDINIS PIERO | 54) PIAZZALUNGA MARCO |
| 18) DE DUCA L.M. | 55) PICCININO MAURIZIO |
| 19) DE POLI GIOVANNI | 56) PINI ALESSANDRO |
| 20) DI GIUGNO GIUSEPPE | 57) POPE STEPHEN |
| 21) DOATI ROBERTO | 58) POZZATI VITTORIO |
| 22) DONATO GIUSEPPE | 59) RAMPAZZI SERENA |
| 23) DORO ANTONIO | 60) RAZZI FAUSTO |
| 24) ESCOT POZZI | 61) RIZZI MAURIZIO |
| 25) FAGARAZZI BRUNO | 62) RUBBAZZER M. |
| 26) FALCONI ROBERTO | 63) SANI N. |
| 27) FRIGO LUCIANO | 64) SAPIR SYLVIANE |
| 28) GABRIELLI SANDRO | 65) SGARGI MASSIMO |
| 29) GALANTE F. | 66) SICA GIANCARLO |
| 30) GIACCAGLINI GIANNI | 67) SINIGAGLIA TIZIANO |
| 31) GIANSANTI ANDREA | 68) STROPPO MARCO |
| 32) GIORDANO AURELIO | 69) TAMBURINI SERENA |
| 33) GROSSI PIETRO | 70) TEDDE GIORGIO |
| 34) GUARINO EUGENIO | 71) TISATO GRAZIANO |
| 35) HAUS GOFFREDO | 72) TRUDU ANTONIO |
| 36) LISI RICCARDO | 73) VIDOLIN ALVISE |
| 37) LORRAIN DENIS | 74) WESSEL DAVID |

I Sessione
SISTEMI (I PARTE)

IL NUOVO SISTEMA XML20 SUONA LA MUSICA DISEGNATA. SINTESI IN TEMPO REALE PILOTATA DA INPUT GRAFICO-OTTICO

Mauro BRESCIA

Libero professionista, Via Baltimora, 22 - Tel. 011/35.92.55 - 10137 TORINO

SOMMARIO: Posti alcuni problemi riguardanti la comunicazione uomo-macchina nel campo della composizione ed esecuzione musicale, considerati i limiti dei principali mezzi esistenti, si descrive la struttura ed il funzionamento del nuovo sistema microelettronico denominato XML20, che permette di pilotare mezzi di sintesi musicale interni od esterni tramite un potente termiale di input ottico a sensore di immagine lineare, che può trarre informazioni dai segni sulla carta (si parla allora di musica disegnata) o dalla scena che viene presentata entro il campo ottico (input gestuale). La più evidente caratteristica del sistema consiste nella possibilità di governare molti parametri per la sintesi musicale in modo pratico, flessibile, preciso. Ne risulta uno strumento polifonico politimbrico autosufficiente o collegabile con altri sistemi, dotato di valenze innovative per composizione, esecuzione, didattica, ricerca.

1. INTRODUZIONE

E' ben noto che oggi l'elettronica e l'informatica forniscono mezzi estremamente potenti per l'analisi e la sintesi di fenomeni sonori e, più in particolare, di quelli musicali, sia a livello di microstruttura di un evento acustico, sia a livelli più macroscopici. Si assiste però, a tutt'oggi ad una persistente situazione di distacco della stragrande maggioranza dei musicisti dal mezzo elettronico-informatico. Anche il pubblico è molto diffidente nei confronti del prodotto elettronico e pare non troppo interessato alla tempesta di effettismo che viene riversata sulle sue orecchie. Questo distacco fra la potenzialità del mezzo e l'accoglienza tributatagli è probabilmente dovuto alla scarsa accessibilità dei nuovi sistemi, più che in termini di costi, soprattutto in termini di praticità e comodità d'uso, e di distanza mentale.

Sarebbe poco realistico pretendere che debbano essere i musicisti a convertirsi all'informatica ed all'elettronica. Conviene invece ammettere che tocchi alla macchina musicale andare verso i creatori ed i fruitori della musica. Queste pagine intendono presentare un nuovo sistema-strumento musicale che tende a conciliare le potenzialità del mezzo elettronico con le esigenze di naturalezza ed elasticità d'uso sentite non solo dal musicista ma anche dal dilettante di musica. Questo strumento l'XML20 (*), permette d'aggirare le difficoltà di apprendimento mentale e muscolare che lo strumento tradizionale presenta; permette anche di non essere esperti d'informatica (come invece richiede la computer-music); richiede invece un'abilità insolita al campo musicale: quella al disegno.

Infatti la composizione e l'esecuzione della musica consistono nel disegnarla. La macchina è dotata di un input ottico che le permette di acquisire informazioni dal disegno per trarne suoni secondo regole ben determinate.

L'XML20 oltre a trasformare in suoni simultanei (linee melodiche) le linee grafiche della partitura, suona ciascuna voce con i timbri corrispondenti a forme d'onda (nel seguito f.d.o.) anch'esse

disegnate sulla carta dal musicista ed acquisite per via ottica.

Risulta quindi possibile governare un numero vastissimo di parametri musicali in maniera precisa, ripetibile, estremamente naturale e visuale. Siccome inoltre l'input è di tipo ottico (non soltanto grafico a contatto, come con la penna luminosa), è anche possibile creare gestualmente la musica. (Sez. 9).

Lo scopo dell'XML20 non è quello di ottenere effetti elettronici né d'imitare strumenti musicali né, infine, di comporre automaticamente, anche se con esso tutto ciò è possibile e comodo. La finalità precipua dell'XML20 consiste invece nel dare la possibilità di comporre col disegno sia la musica, secondo schemi tradizionali o totalmente informali, sia il timbro delle voci. E' uno strumento adatto anche ai bambini perché reagisce simpaticamente a qualsiasi scarabocchio senza effetti raggelanti, ma non si crede che sia troppo facile d... suonare giacchè chi ne vuol fare un uso impegnato trova pane per i suoi denti.

Essendo politimbrico, oltre che polifonico, è adattissimo a far discernere le parti di un assieme.

Dal punto di vista elettroacustico è uno strumento dotato di n sorgenti di segnale, non mixate all'origine. E' possibile quindi non solo la quadriponia ma la n-fonia ossia la sonorizzazione di una sala con n sorgenti indipendenti variamente dislocate.

Da un punto di vista più tecnico si tratta di un sistema a computer con una complessa periferica per l'input ottico-grafico ed una schiera di periferiche modulari di output per la produzione di a) segnali elettroacustici in forma digitale od analogica; b) segnali a variazione lenta, in forma digitale od analogica.

E' inoltre corredata di unità periferiche per la comunicazione col mondo esterno. La struttura dell'hardware è modulare, quindi aperta ed espansibile.

Allo scopo di far luce sulle peculiarità dell'XML20, affrontiamo un discorso di base su alcune problematiche musicali.

(*) XML sta per eX-Missing Link=Anello ex mancante. (Patent Pending)

2. PROBLEMI DI BASE NELLA PRODUZIONE DELLA MUSICA COL MEZZO ELETTRONICO

Nel fare musica occorre affrontare due livelli di problemi generalmente riconosciuti:

- a) comporre i suoni
- b) comporre con i suoni

Lo strumento musicale tradizionale è una soluzione al problema di produrre suoni; per il compositore progettare un suono significa scegliere uno strumento piuttosto di un altro, ma una "composizione dei suoni" vera e propria gli è negata. I suoni strumentali hanno in generale, caratteristiche fisiche ben note:

- 1) il contenuto spettrale è relativamente stabile da un istante d'attacco e per una certa durata;
- 2) le "altezze musicali" assumono valori in un insieme discreto. Il "comporre con i suoni" prodotti dagli strumenti tradizionali porta dunque ad una musica necessariamente fatta di "note". Per uscire da tali limiti (sempre che lo si voglia) occorrono segnali acustici in cui l'altezza non sia vincolata ad essere costante per qualche tempo, né sia relegata in un insieme discreto.

Molti strumenti tradizionali e la stessa voce umana possono realizzare ciò. Per secoli però la musica occidentale ha insistito sul sistema delle note, sia pure ammettendo infinite deroghe, notate in partitura solo in maniera qualitativa ed affidate all'interpretazione dell'esecutore. Sarebbe infatti difficile non solo notare ma anche eseguire in maniera quantitativamente rigorosa delle altezze e durate musicali non ancorate a valori discreti.

L'elettronica però permette di cambiare le cose: oggi è possibile specificare con gran dettaglio alla macchina quale frequenza deve generare, a partire da quale istante, per quale durata, con quale intensità e composizione spettrale. È però facile vedere che una simile definizione capillare del suono comporta di dover trasmettere alla macchina una quantità d'informazione davvero onerosa; il reale limite pratico sta nel canale di comunicazione uomo-macchina.

Ciò premesso, per meglio inquadrare le innovazioni apportate dal sistema XML20, conviene esaminare quali sono i principali mezzi esistenti per la comunicazione fra uomo e macchina musicale.

3. ALCUNI MEZZI PER LA COMUNICAZIONE DA UOMO A MACCHINA IN CAMPO MUSICALE

Per comunicare con la macchina il compositore o l'esecutore oggi ha queste principali possibilità:

- a) la tastiera musicale
 - b) la consolle alfanumerica
 - c) potenziometri e sistemi analogici similari
 - d) la penna luminosa
 - e) il tavolo di digitalizzazione
 - f) linguaggi di programmazione ad alto livello.
- a) La tastiera musicale ha due grossi limiti: 1) è vincolata al concetto di nota; 2) richiede abilità organistica all'esecutore. È il mezzo più diffuso per comunicare con la macchina musicale, ma non è certo innovativa nei confronti delle esigenze sopra esposte.
- b) La consolle alfanumerica: consente di codifi-

care la musica, suono per suono, al livello più capillare. È superabile il concetto di nota, ma è difficile descrivere anche solo un glissando (se non si usano linguaggi di programmazione ad alto livello), a causa dell'intollerabile quantità di codici necessari. Risultano difficilissime da ottenere quelle deroghe da un andamento schematico che con lo strumento tradizionale sono comuni e agevoli.

c) Potenziometri e sistemi analogici similari: sono un regresso rispetto all'agibilità dello strumento musicale tradizionale, data la loro scarsa ergonomicità.

d) La penna luminosa: può permettere di definire forme d'onda, involuppi, andamenti frequenza/tempo o intensità/tempo con discrete possibilità analogiche, però ha seri limiti di risoluzione e di capacità.

e) Il tavolo di digitalizzazione: è un mezzo di input grafico con grande flessibilità analogica. Permette di trasmettere al computer complessi disegni con significato di diagrammi musicali multipli di frequenze, intensità, involuppo. Questo sistema, piuttosto costoso, più si avvicina nell'effetto all'XML20 ma con alcune importanti differenze che verranno evidenziate nel seguito (Sez.14).

f) Linguaggi di programmazione ad alto livello: per esplicata ammissione di Max Mathews [1] autore del linguaggio "MUSIC V", si ricade: 1) nel concetto di strumento musicale e quindi di evoluzione timbrica preconfezionata; 2) nel concetto di nota, sia pure con possibilità di programmare deroghe rispetto alle altezze temperate. Senza dubbio questo metodo è potente ma ha notevoli difetti dal punto di vista del musicista: 1) richiede che egli diventi un "informatico"; 2) richiede lo accesso a calcolatori e a software ancora piuttosto costosi, con la sostanziale dipendenza da tecnici del computer; 3) soprattutto non permette un controllo che sia insieme facile, capillare ed analitico della musica; il comporre per algoritmi, quintessenza della sinteticità per alcuni, è del tutto rifiutato da molti altri.

Veniamo ora all'oggetto del presente lavoro.

4. STRUTTURA FISICA DELL'XML20

L'XML20 è composto da (fig. 1):

- a) un modulo centrale contenente un microcomputer (CPUZ80, RAM, ROM, schede di interfaccia I/O);
- b) un banco ottico-meccanico collegato al modulo centrale, che raggruppa un sensore ottico d'immagine lineare sorretto da un braccio, un'unità di trasporto della partitura a motore passo-passo, un rotolo di carta, che è bianca a fibra lunga, alta 55 cm;
- c) una tastierina-consolle per impartire comandi;
- d) una tastiera musicale a quattro ottave, espansibile.

Un normale impianto HI-FI (stereo o meglio quadriphonico) provvede a mixare, amplificare e diffondere i segnali d'uscita dell'XML20.

5. ACQUISIZIONE IN MEMORIA DEI DATI OTTICI

Per l'acquisizione delle informazioni ottiche viene usato, come già detto, un sensore d'immagine

lineare (tecnologica CCD) che opera di continuo esposizioni autoregolate secondo la luce media proveniente dal campo. Ad ogni esposizione si ottiene nel sensore, la "fotografia elettronica" di una sottile fitta di carta trasversale al moto di trascinamento. Da ogni elemento d'immagine (o "PIXEL") proviene un'informazione sul grado di grigio diffuso. Quindi l'immagine elettronica consiste in un elevato numero di misurazioni (2048 nel prototipo) di luminanza, provenienti da altrettanti punti allineati nel campo visuale. I risultati di tali misurazioni vengono estratti serialmente dal sensore e subito convertiti in segnali logici col significato di "bianco" e "nero". Tale estrazione verrà qui denominata "scansione"; essa ha luogo periodicamente ad un ritmo superiore a 40 volte/sec.. Un segnale di scansione tipico è quello di fig. 2.

Facendo scorrere la carta rispetto al sensore, è possibile rilevare elettronicamente i disegni esistenti, con le loro progressive variazioni, in forma di zone nere su fondo bianco che via via si presentano sulla linea di scansione. Come si è detto, ad ogni 1/40 di s o meno, nuovi dati di scansione sono disponibili nel sensore d'immagine. La CPU del sistema, che esegue un programma ciclico, periodicamente acquisisce tali dati per trasferirli nella memoria principale. Tale trasferimento comporta anche una preelaborazione, consistente nell'estrazione delle ascisse dei soli punti di contrasto (passaggio da bianco a nero o viceversa), con notevole riduzione dei dati. L'utilizzo di tali dati dipende poi dal tipo di programma scelto. Sono comunque da notare i seguenti punti:

- a) l'ascissa assoluta di ogni punto di contrasto è direttamente disponibile;
- b) la distanza di due punti di contrasto è ottenibile come differenza di ascisse;
- c) lo spessore di una zona nera, che è un caso rientrante in b), è ottenibile come differenza di ascisse.

I risultati b) e c) sono invarianti rispetto a scostamenti trasversali della carta o a vibrazioni equivalenti del sensore.

5.1. Capacità del canale ottico

Valutiamo la quantità d'informazione corrispondente ad ogni linea nera sulla carta; il suo bordo superiore possiede un'ascissa esprimibile con 11 bit d'informazione (2048 posizioni equiprobabili); assumendo uno spessore massimo di 10 mm ≈ 40 pixel, esso è esprimibile con circa 5 bit. Tote 16 bit. Con un massimo di 32 linee disegnate si hanno 512 bit. Se la rilettura avviene a 40 cicli/s, la velocità di informazione vale 20K bit/s, di tutto rispetto per un input uomo-macchina.

Le diverse linee consentono controlli simultanei su parametri totalmente indipendenti. A software si può definire il campo di variazione ed il significato di ogni linea, ossia il programma di volta in volta scelto dal musicista fornisce alla CPU la grammatica di interpretazione del disegno.

Per esempio, uno di tali programmi (Sez. 6.3) considera la linea di scansione come la tastiera di

un organo (avente, però, ben 96 tasti per ottava). I punti dove il sensore intercetta il nero del disegno si considerano come tasti schiacciati ed usati per attivare, in corrispondenza delle parti musicali. Altre possibilità verranno spiegate in seguito.

5.2 Il controllo grafico del tempo musicale

Un importante uso dei dati di scansione va citato subito. In un'apposita striscia della banda di carta si può disegnare un diagramma (fig. 4 in basso) la cui altezza corrente controlla la velocità di trasporto. Insomma la carta contiene l'informazione per trascinare se stessa. E' così possibile ottenere effetti essenziali nell'espressività musicale, (rallentando, accelerando,...)

6. OBIETTIVI DELLA COMUNICAZIONE GRAFICA

L'input ottico fornisce informazioni al sistema sia per "suonare" direttamente un disegno come diagramma frequenza/tempo, sia per preparare i generatori di suoni ad emettere f.d.o. definite graficamente. Esaminiamo le principali possibilità.

6.1 Input ottico di f.d.o.

Il musicista disegna sulla carta cinque (per es.) distinte forme d'onda entro rettangoli incolonnati, da assegnare a diversi generatori, anche più di cinque. Occorrono, in orizzontale, 64 mm. Ogni f.d.o. è riferita al segmento base del proprio quadro, anch'esso disegnato (fig. 3). La macchina, a comando, fa scorrere i grafici posizionati sotto il sensore e carica i dati rilevati nelle apposite memorie dei generatori assegnati delle f.d.o.. Nel seguito tali generatori produrranno segnali elettrici aventi esattamente le f.d.o. disegnate. La risoluzione orizzontale e verticale è, per ogni onda, di 256x256 elementi. Si avranno quindi campioni su 256 livelli equispaziati ed in n. di 256; ciò corrisponde ad un campionamento con informazione completa di fase e ampiezza relativa fino alla 128th armonica.

La durata dell'acquisizione è dell'ordine dei secondi.

Nel corso dell'esecuzione musicale si può fare una nuova acquisizione: ciò equivale un poco al cambio di registro dell'organo. Senza volersi qui avventurare nel terreno dell'imitazione di strumenti musicali, per cui occorrono più appropriate filosofie [2], val la pena far presente che l'XML20 offre l'opportunità di creare timbri gravellati e svariati col minimo sforzo e la massima immediatezza. Si può raccogliere un archivio di cartoncini-scheda d'onda e di fotografie, fatte all'oscilloscopio, di suoni captati col microfono. Si possono verificare immediatamente risultati di autorevoli studi sul timbro. [2].

6.2 Input ottico di linee melodiche su righi accollati

Vi sono due principali organizzazioni, mutuate dalla normale notazione musicale, per linee melodiche simultanee:

- a) con più righi accollati;
- b) con un unico rigo.

Esaminiamo il primo caso (fig. 4).

Il musicista dispone di circa 400 mm in verticale

da dedicare ai righi accollati per n voci. (per es., n = 5). Suddividendo tale spazio in parti uguali, si ottengono n striscie (nell'esempio, alte 80 mm). Entro ognuna il musicista può tracciare l'andamento melodico della rispettiva linea; l'altezza musicale è determinata dall'altezza del grafico mentre lo spessore determinerà l'intensità (forte-piano) della voce.

L'altezza è misurata, per ogni linea, rispetto ad un riferimento disegnato in basso entro la striscia. La corrispondenza da altezza grafica a frequenza è antilogaritmica affinché uguali incrementi nella prima diano luogo ad uguali rapporti nella seconda (uguali intervalli musicali).

L'altezza del suono è determinabile con molta precisione: usando un fattore di scala di 24 mm/octava, ogni voce (nell'esempio fatto) può estendersi per circa 3 ottave. Fermo restando il trend della linea melodica, se il suo disegno viene tracciato ondulato o discontinuo, si ha la possibilità di ottenere un vibrato un trillo, in genere una arbitraria modulazione di frequenza. Si ha quindi un puntuale controllo a misura d'uomo della microstruttura melodica.

Variando poi lo spessore, come già accennato, è possibile ottenere il controllo della dinamica; la corrispondenza è antilogaritmica (uguali incrementi di spessore generano uguali rapporti di ampiezza ossia uguali incrementi in dB).

Ogni voce possiede una dinamica di 96 dB (di cui 48 dovuti all'inviluppo e 48 alla definizione della forma d'onda).

Si possono disegnare suoni ad attacco improvviso o graduale, sostenuti o smorzati, in generale modulati in ampiezza arbitrariamente.

Nell'insieme abbiamo n linee melodiche, ciascuna con un suo timbro, che saranno eseguite simultaneamente. Esse possono seguire ritmi diversi, essere attive od in pausa, suonare forte o piano senza reciproco condizionamento e fare tutti i movimenti armonici e contrappuntistici possibili ed immaginabili. La frequenza, per ogni voce, può variare a salti o con continuità. E' possibile riaccordare dinamicamente ogni voce (trasposizione). E' possibile anche ottenere frequenze ultraterreno o infra-soniche.

6.3 Input ottico di linee melodiche su un rigo unico

Mentre l'organizzazione a righi accollati è molto adatta al contrappunto poiché consente una facile separazione grafica delle parti, con un rigo unico si ha un più agevole controllo delle relazioni reciproche fra i suoni, molto utile per studi di carattere sperimentale ed informale.

Lo spazio disponibile porta il disegno di n linee melodiche, tutte riferite alla medesima linea di base (fig. 5).

Con 400 mm di altezza e un fattore di scala di 48 mm/octava, il rigo consente ad una voce di spaziare su più di 7 ottave.

Poiché il semitono temperato corrisponde a 4 mm, affinando il disegno è possibile ottenere una risoluzione grafica e musicale estremamente spinta: si possono intonare scale greche, zarliniane, orientali [3], oltre a quella temperata. Volendo, un algoritmo di arrotondamento permette, per con-

tro, di quantizzare le altezze entro fascie di +2 mm, dando al disegno ampia tolleranza. (Ciò è attuato anche per i righi accollati).

Il controllo dell'intensità può essere affidato ancora allo spessore di ogni linea, oppure può essere realizzato a parte, con altri grafici, per evitare i problemi che nascono nell'accostamento di linee spesse.

7. INPUT DA TASTIERA MUSICALE POLITIMBRICA

Le possibilità della sintesi di suoni disegnati devono essere messe a disposizione della classica tastiera, affinché il già esperto organista possa suonare direttamente il sistema XML20.

Pertanto un'interfaccia permette alla CPU di "leggere" periodicamente lo stato della tastiera allo scopo di pilotare conformemente le unità generatrici di suono. Ciò avviene indipendentemente dallo input ottico o parallelamente ad esso. Se i generatori sono tutti isotimbrici, si ha l'effetto di un sintetizzatore polifonico.

Se però i generatori sono stati "preparati" con disegni diversi, si ha a che fare con una tastiera politimbrica, con effetti svariati in dipendenza dall'algoritmo usato per l'assegnazione tasti/voci.

8. INPUT DIGITALE DIRETTO DA CONSOLLE O DA SORGENTE ESTERNA

Poiché la produzione dei suoni nell'XML20 richiede il passaggio di parametri dalla memoria ai generatori di suono, se carichiamo direttamente in memoria tali parametri possiamo eseguire musica senza bisogno di input ottico o di tastiera musicale.

Tale caricamento può avvenire: 1) tramite la consolle di controllo; 2) tramite qualsiasi metodo di comunicazione coll'esterno, non escluso il DMA.

Con queste possibilità l'XML20 diviene un sequencer. E' anche possibile la composizione automatica, pur di programmare algoritmi che forniscono parametri esecutivi ai generatori di suoni, magari in diretta dipendenza dall'input ottico come potente mezzo di condizionamento delle regole composite.

9. INPUT OTTICO GESTUALE

E' evidente l'importanza di questo peculiare aspetto, esclusivo dell'XML20; le possibilità divengono concrete e sconfinate.

Se infatti si presentano al sensore d'immagine non disegni su carta, ma oggetti mossi o le mani stesse del musicista si ottengono degli effetti acustici in modo ben precisabile. Se poi si rivolge il sensore verso uno schermo bianco e contro di esso si pone la sagoma scura o l'ombra di un esecutore, questi, con i suoi gesti, può "suonare" otticamente l'XML20. E' difficile anche solo immaginare gli sviluppi artistici di queste possibilità, messe in mano a buoni interpreti.

E' una forma nuova, tecnologizzata ma non tecnologicistica, di spettacolo di suono e luce. Lo spettacolo non viene accostato al suono, ma determina il suono stesso.

10. MONITORIZZAZIONI OTTICHE

A proposito di spettacolarità è possibile:

- 1) proiettare al pubblico su di uno schermo la partitura su carta via via che l'XML20 la legge ed esegue. Gli ascoltatori-spettatori potranno trarre un'immediata correlazione fra segni grafici e musica (Fig. 6).
- 2) Esporare col sensore in lenta rotazione una partitura grafica cilindrica affissa sul perimetro interno di una sala a pianta circolare, col pubblico al centro (Fig. 7).
- 3) Col sensore montato su un carrello, esporare una partitura-poster affissa lungo un muro diritto (Fig. 8).
- 4) Proiettare in sala cinematografica una partitura prefilmata e farla leggere ad esempio dall'XML20 sullo schermo o tramite una derivazione luminosa tratta dal proiettore.

11. OUTPUT MUSICALE: UNITA' PERIFERICA MODULARE DI SINTESI

Ogni generatore di voce è essenzialmente costituito (Fig. 9) da un divisore programmabile, una memoria di forma d'onda, un convertitore D/A moltiplicativo ed un filtro antialias. La memoria d'onda, di organizzazione 256X8, viene scandita completamente ad ogni ciclo fornendo 256 campioni. Il convertitore D/A genera il segnale analogico audio d'uscita, con guadagno controllato da un altro convertitore D/A. La frequenza di clock della memoria dev'essere, ovviamente, 256 volte la frequenza audio voluta.

La risoluzione del segnale analogico è di 16 bit ottenuti in modo economico ed efficiente, combinando 8 bit di inviluppo con 8 bit di definizione della forma d'onda.

12. OUTPUT ALTERNATIVI

L'XML20, che è di per sé uno strumento musicale autonomo, può esser collegato con altri mezzi elettronici come ad esempio:

- 1) sintetizzatori analogici a controllo di tensione;
- 2) sintetizzatori digitali interfacciati come sue periferiche o in sistemi multimicro.

Nei riguardi dei sintetizzatori analogici l'XML20 può fornire:

- a) tensioni disegnate per il controllo lineare o logaritmico di VCA, VCO, VCF;
- b) segnali di trigger e di gate;
- c) segnali audio da processare mediante le risorse (VCF, VCA) del sintetizzatore a valle.

Nei riguardi dei sintetizzatori digitali, l'XML20 può dare e ricevere qualsiasi tipo d'informazione. Soprattutto, data la sua potenza come mezzo di input, può fornire parametri per il pilotaggio di unità di sintesi esterne basate sul Digital Signal Processing, formando un insieme di prestazioni avanzate. Da ultimo, può ricevere in forma grafica da un altro computer, tramite un plotter, il disegno di una partitura!

13. APPLICAZIONI EXTRA MUSICALI, CIVILI, INDUSTRIALI, BIOMEDICALI

L'XML20 è nato come strumento musicale con prestazioni sue esclusive. Se lo si considera in modo

più astratto dal puro piano musicale, lo si può definire anzitutto come un PLOTTER INVERSO poiché trasforma grafici dati in segnali digitali od analogici. Inoltre è un GENERATORE DI FUNZIONI ARBITRARIE, DEFINITE GRAFICAMENTE, con SINTESI INDIRETTA DI FREQUENZA potendo presentare la stabilità e precisione del quarzo.

E' facile pensare a molte utili applicazioni:

- simulazione di segnali sismici o comunque complessi per test di vibrazioni, di resistenza strutturale, di funzionalità di accelerometri sismografici;
- simulazione di segnali biologici per test su modelli;
- lettura a distanza di codici a barre;
- generazione di segnali a scopo generale per test su strumentazione analogica e digitale, con molti canali simultanei d'uscita;
- potente input analogico per il controllo di sistemi digitali.

14. OSSERVAZIONI SPARSE

Aggiungiamo, per brevità in forma di elenco, alcune considerazioni sull'XML20.

- Permette un fine ed immediato controllo della MICROSTRUTTURA melodica (vibrato, acciaccatura, trillo, glissato, portamento diventano facili disegni).
- Consente di "suonare" polifonie complesse anche a chi non può studiare anni ed anni. La pratica strumentale, croce e delizia di chi vi si dedica, assume la nuova forma di pratica del disegno della musica, senza più la schiavitù del "tempo reale".
- E' portatile in sala e non necessita di nastro magnetico.
- In campo didattico è un catalizzatore tutto da sperimentare per la comprensione delle strutture, per l'affinamento del gusto, per l'oggettivizzazione visuale di esecuzioni prese a modello, di sfumature.
- Una variazione può essere fatta con gomma da cancellare e matita, e venire subito ascoltata.
- E' possibile suonare l'XML20 con altri strumenti perché è possibile metterlo al passo, agendo in diretta sul controllo del tempo.
- Rispetto al tavolo di digitalizzazione, e al video terminale con penna ottica, l'XML20 presenta le seguenti differenze:
 - 1) la preparazione della musica disegnata può essere fatta senza il contatto con la macchina, quindi più persone possono preparare lavori simultaneamente;
 - 2) il supporto grafico è illimitato in lunghezza, consentendo una capacità di informazione senza costrizioni;
 - 3) l'XML20 può essere pilotato da oggetti o sagome in moto, senza diretto contatto.
- L'XML20 si rivolge a:
 - °° studi di ricerca musicale, come potente input
 - °° compositori, come nuovo strumento musicale di cui è possibile dimenticarsi che è elettronico ed informatico, usandolo con naturalezza e spontaneità
 - °° conservatori e luoghi di insegnamento musicale, come ausilio didattico le cui potenziali-

tà si riveleranno insostituibili
°° complessi pop, come mezzo nuovo, capace di interazione feconda con la strumentazione che già possiedono
°° centri di quartiere, orchestre, gruppi di musica sperimentale, o singoli amatori come nuovo strumento musicale;
- la partitura sperimentale cessa di essere un "grafico postmusicale" ma è il tramite concreto della composizione e retroagisce sull'idea compositiva obbligandola a precisarsi graficamente.

Per concludere, ecco una notevole citazione di Edgar Varèse (Santa Fe, 1936) [4] :

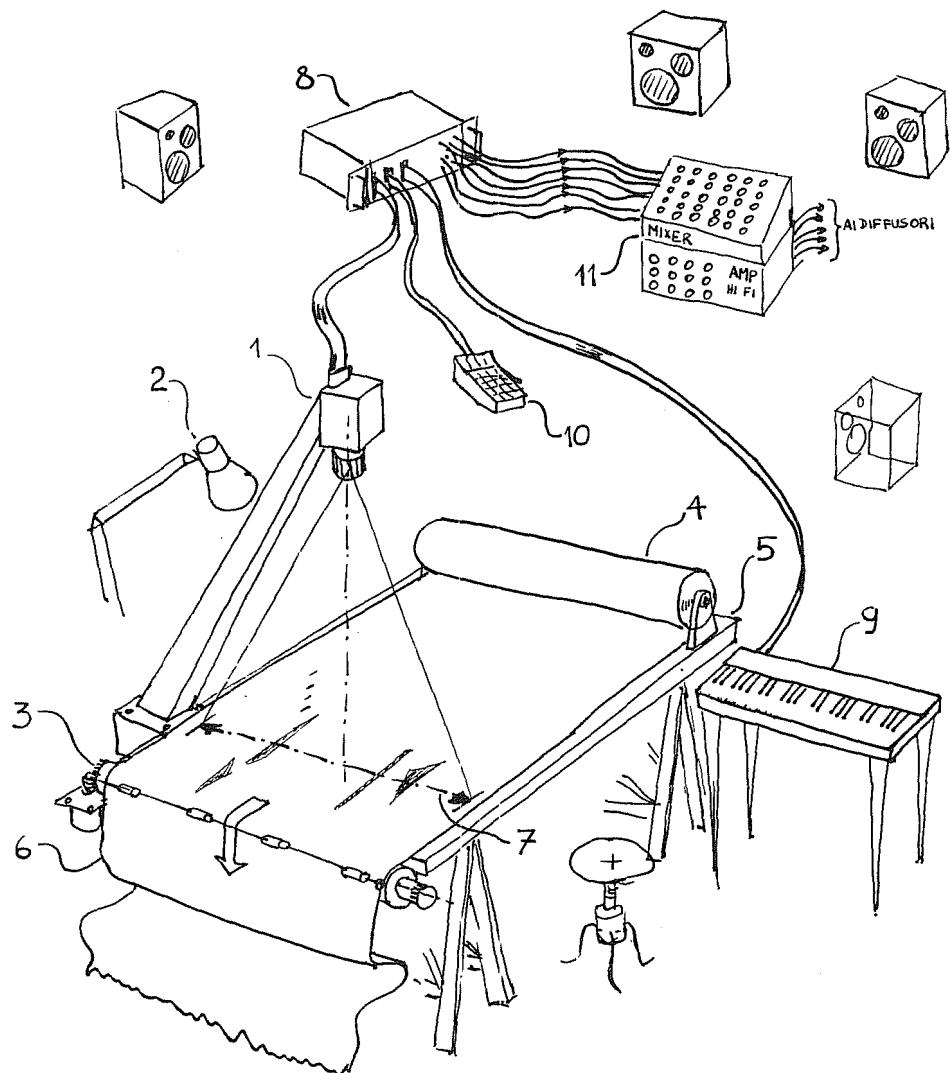
"Sono certo che verrà il giorno in cui il compositore, una volta realizzata graficamente la sua partitura, potrà affidarla ad una macchina che ne trasmetterà fedelmente ed automaticamente il contenuto musicale all'ascoltatore. Poiché sulla partitura saranno indicate nuove frequenze e nuovi ritmi, la nostra notazione attuale non sarà più adeguata. La nuova notazione sarà probabilmente simile ad un sismogramma".

Questa esigenza di Varèse potrà forse ricevere un contributo realizzativo dall'XML20, com'è speranza del suo autore.

15. BIBLIOGRAFIA

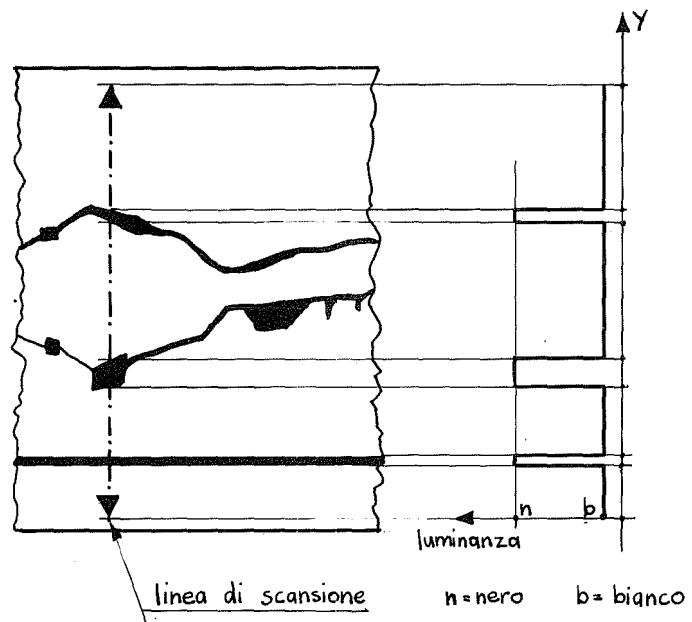
- [1] H. Pousseur, *La Musica Elettronica* (Feltrinelli, Milano 1976), pag. 198.
- [2] J.C.Risset, D.Wessel, *Indagine sul timbro mediante analisi e sintesi*, *Bollettino Limb* 2, 1982.
- [3] P.Righini e G.U.Righini, *Il Suono*, Tamburini, Milano 1974.
- [4] H.Pousseur, op.cit., pag. 17.

IL NUOVO SISTEMA XML20 SUONA LA MUSICA DISEGNATA

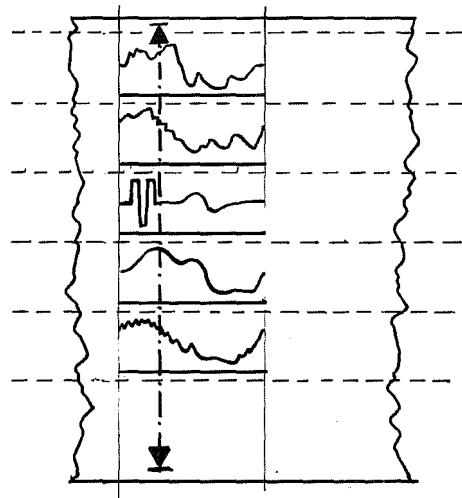


- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1) sensore d'immagine | 6) partitura su carta |
| 2) lampada ordinaria | 7) linea di scansione ottica |
| 3) rullo di trasporto carta a motore | 8) modulo centrale |
| 4) bobina di carta | 9) tastiera musicale |
| 5) piano d'appoggio | 10) tastierina consolle |
| | 11) mixer e amplificatore esterni |

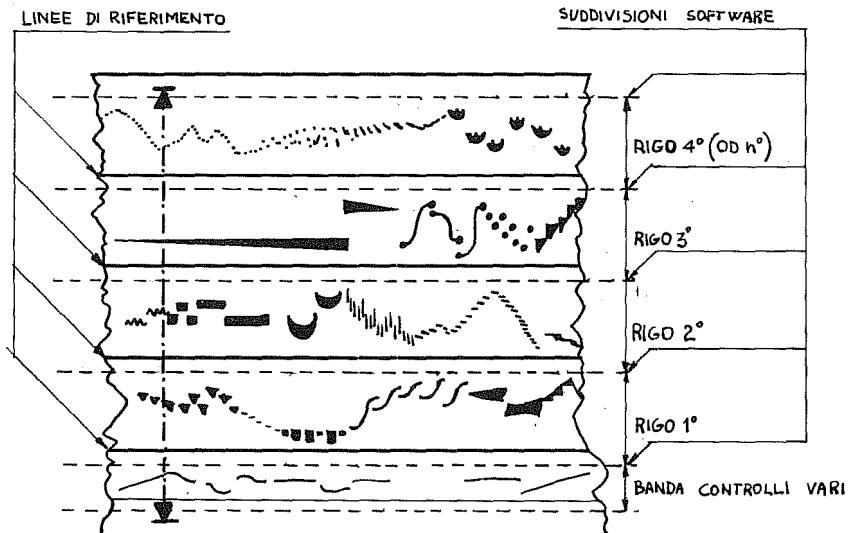
"Fig. 1 - Struttura fisica dell'XML20"



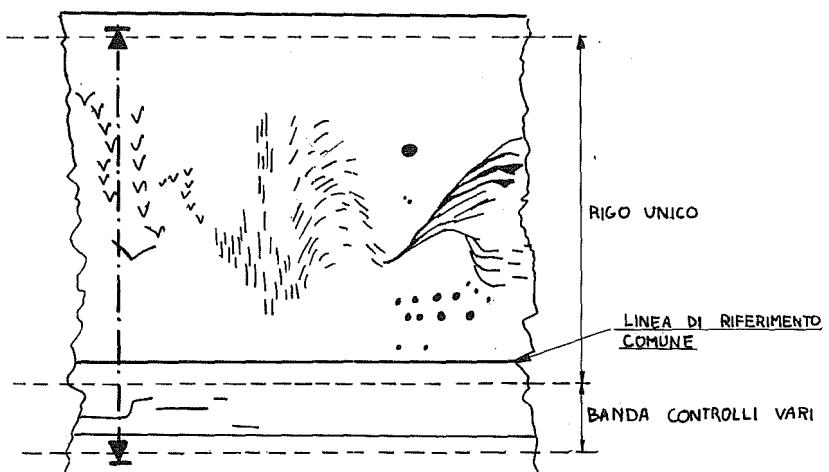
"Fig. 2 - Segnale di scansione tipico"



"Fig. 3 - Input ottico di forme d'onda"

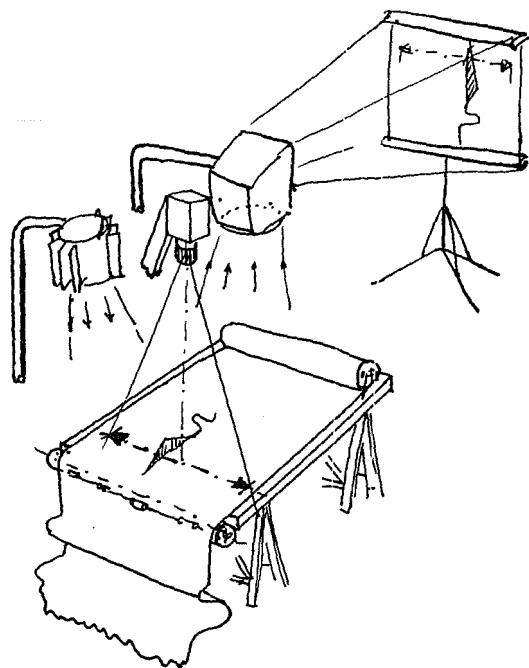


"Fig. 4 - Partitura a righi accollati"

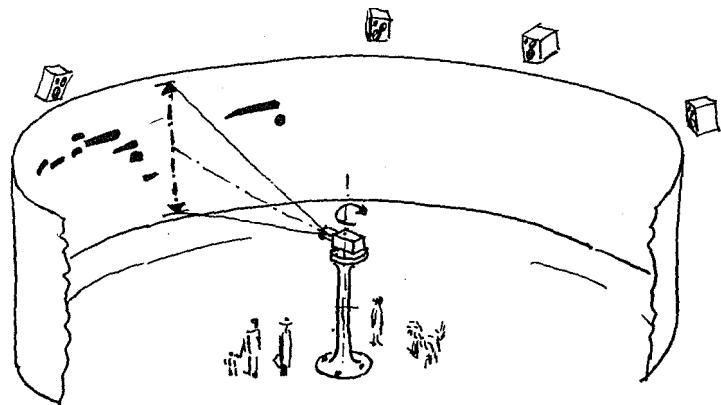


"Fig. 5 - Partitura a rigo unico"

Mauro BRESCIA

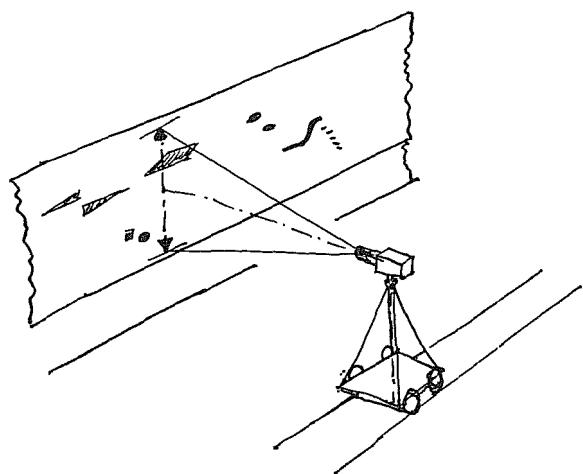


"Fig. 6 - Monitorizzazione su schermo"

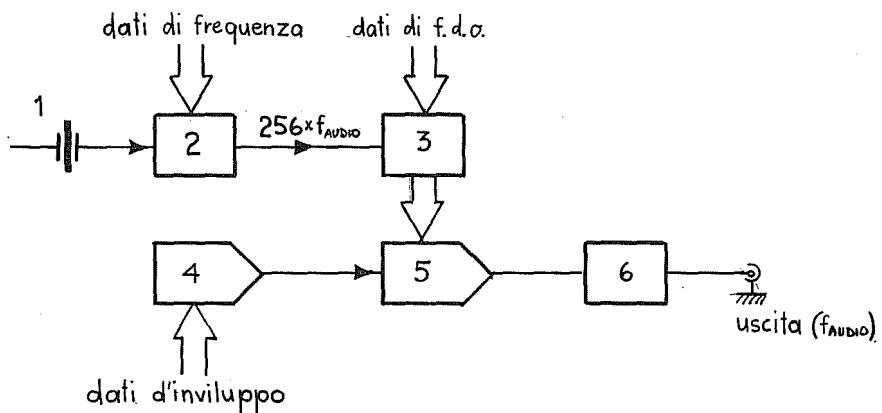


"Fig. 7 - Partitura cilindrica"

IL NUOVO SISTEMA XML20 SUONA LA MUSICA DISEGNATA



"Fig. 8 - Partitura-poster"



- | | |
|---|-----------------------|
| 1) Quarzo | 4) D/A |
| 2) Divisore programmabile | 5) D/A moltiplicativo |
| 3) Memoria di f.d.o. a
scansione ciclica | 6) Filtro antialias |

"Fig. 9 - Modulo generatore"

VERSO MUSIC V IN TEMPO REALE: UN SOFTWARE PER IL PROCESSORE NUMERICO DI SUONI 4i

S. SAPIR, G. DE POLI

Centro di Sonologia Computazionale - Istituto di Elettrotecnica e di Elettronica
Università di Padova

Viene presentato il software MV4I dedicato al processore numerico di suoni 4i, realizzato all'IRCAM da G. Di Giugno. MV4I ha le seguenti caratteristiche: è concepito per lo studio della sintesi del suono; è basato sull'uso del linguaggio MUSIC V; permette di fare eseguire in tempo reale dal processore 4i una partitura MUSIC V; permette di intervenire, in maniera gestuale, durante l'esecuzione per controllarne il suo andamento; registra numericamente gli eventi gestuali.

1. INTRODUZIONE

Il disporre di un processore numerico di suoni funzionante in tempo reale accresce in modo significativo la potenza di un sistema d'informatica musicale.

Per poter utilizzare il processore nella maniera più efficace e creativa, è necessario che sia dotato di un software appropriato, capace di creare un ambiente amichevole all'insieme dei musicisti. Si vuole, cioè consentire loro di operare ad un livello di astrazione tale che essi non abbiano da preoccuparsi dei problemi di basso livello legati al funzionamento del processore.

In questo lavoro viene presentato il progetto MV4I dedicato al processore 4i realizzato all'IRCAM da G. Di Giugno. La prima parte descrive le scelte che sono state fatte in confronto ai vincoli imposti dal sistema e agli obiettivi che si volevano raggiungere. Dopo, in una seconda parte, viene presentato il software seguendo una metodologia basata sull'uso delle reti di Petri. Daremmo infine alcuni dettagli relativi alla struttura dei dati del sistema e una descrizione dei diversi tipi di controllo che possono intervenire in tempo reale durante l'esecuzione di una "partitura musicale" effettuata per mezzo del processore 4i.

2. OBIETTIVI E VINCOLI DEL PROGETTO

Realizzare un software adatto all'uso del processore 4i per fini musicali pone dall'inizio un certo numero di vincoli. In effetti il processore, per la sua presenza fisica e, per la sua logica, impone a un sistema di carattere generale una configurazione già orientata. Si tratta dunque di riuscire a fissare degli obiettivi raggiungibili e di decidere in funzione di criteri che saranno precisati più avanti fino a che punto tenere conto delle esigenze del processore.

2.1. Il processore numerico di suoni 4i

Viene ora data una presentazione succinta del processore 4i. Per una descrizione più completa si veda /1/. Esso è una scheda di circa 160 circuiti in

tegrati che permette di compiere in un ciclo di 62.5 μ s, 1024 passi prefissati di un microprogramma memorizzato su una ROM. La sua architettura è schematizzata in figura 1.

L'unità aritmetica e logica (ALU) e il moltiplicatore (MLT) permettono di effettuare delle operazioni su dati contenuti nella memoria di dati (DM), secondo un certo numero d'informazioni contenute nella memoria degli indirizzi (AM). Inoltre è possibile accedere alla memoria delle funzioni (WM) sia per delle operazioni di lettura che per operazioni di scrittura.

Il microprogramma è organizzato in modo da simulare cinque moduli elementari standard di sintesi. L'organizzazione "pipeline" del processore permette di disporre durante un ciclo di 62.5 μ s dell'insieme di moduli rappresentati nella figura 2.

Tutti i calcoli interni sono fatti con una precisione di 24 bits; sono a disposizione quattro uscite verso quattro convertitori numerico-analogici a 16 bits. Il processore 4i è pilotato e controllato da un elaboratore PDP11/34 attraverso l'UNIBUS.

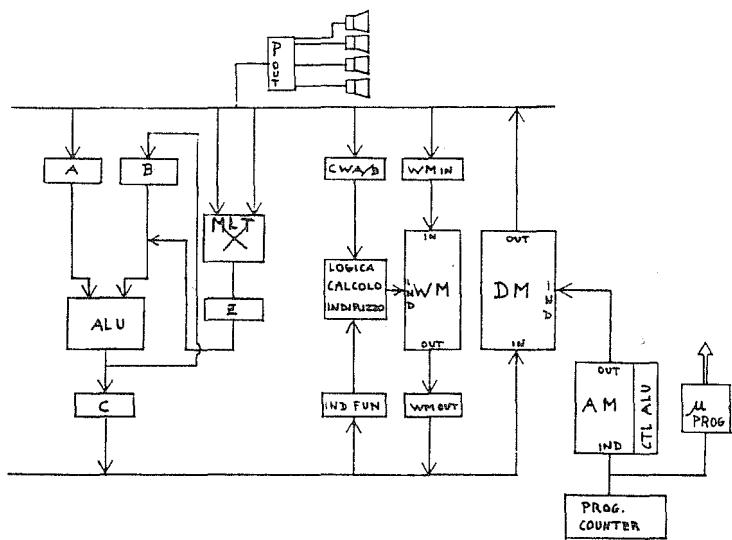
Esponiamo brevemente certi aspetti del processore che determinano dei vincoli per il nostro progetto.

* Le risorse fisiche.

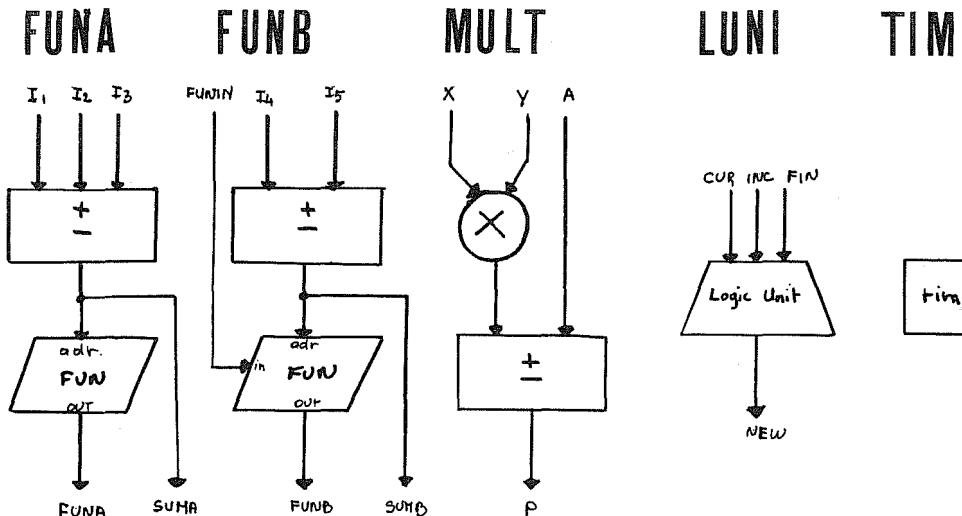
La generalità e la potenza del software saranno limitate dalle risorse hardware non espandibili del processore.

* L'aritmetica.

Il grosso vantaggio, che è la precisione (24 bits) alla quale sono effettuati i calcoli nella 4i, crea un problema per quanto riguarda il dialogo PDP-4i. Essendo la rappresentazione interna delle parole del PDP codificate con 16 bits, ha velocità nello scambio di dati tra PDP e 4i risultata rallentata dal dover procedere in due passi: una trasmissione di 16 bits e seguita da una di otto. Inoltre i moltiplicatori devono essere considerati come enuatori, per cui si deve pensare di utilizzare un'aritmetica



"Fig. 1 Schema dell'architettura del processore 4i"



"Fig. 2 Moduli base disponibili nel processore 4i"

con numeri frazionari. Questo pone dei problemi se si vuole rendere il processore trasparente all'utilizzatore.

* L'architettura.

L'architettura "pipeline" della 4i impone che le operazioni che servono ad elaborare i moduli base siano effettuate in un'ordine ben preciso. Questo significa che al momento della costruzione di un algoritmo di sintesi la sequenzialità delle operazioni deve essere compatibile con quella del

processore.

2.2. Eseguenze sul software

Il software dovrà essere possibilmente concepito in modo da offrire all'utilizzatore un linguaggio operante ad un livello relativamente elevato rendendo il processore trasparente, senza però ridurne la potenza. Uno studio preliminare dei sistemi realizzati per processori di suoni in tempo reale ha messo in evidenza due tipi di situazione:

- a) il processore già realizzato impone la sua logica. E' il caso di 4CED /2/ e ARTS /3/, due linguaggi scritti per la 4C all'IRCAM. Questi sistemi sono potenti e si adattano bene alle potenzialità della 4C, ma offrono un linguaggio che si presenta ad un livello ancora molto vicino a quello della macchina e pertanto l'uso risulta molto complicato.
- b) Il processore concepito con il suo software in vista di un'applicazione ben precisa. E' il caso del progetto SSSP realizzato a Toronto dall'équipe di Burton /4/. Il sistema è concepito come un mezzo per la didattica della composizione musicale; il linguaggio che ne deriva è ben adatto alla problematica ma certamente meno potente in altri campi.

Da questa analisi si sono tratte le seguenti conclusioni per quanto riguarda il nostro progetto.

Il voler sfruttare al massimo le possibilità del processore può condurre a costruire un sistema complesso, poco flessibile e che in ogni caso non sarà mai lo "strumento universale" che il musicista potrebbe aspettarsi. Sarebbe un peccato invece limitare il sistema ad una specifica applicazione, vista la relativa potenza del processore.

Pertanto abbiamo scelto una via intermedia che consiste di deviare la 4i dalla sua logica cercando di piegarla ad alcune nostre esigenze che sono: trasparenza del processore, linguaggio operante ad un livello simbolico, operazioni musicali diversificate a livelli differenti.

2.3. Scelta del linguaggio

Il linguaggio supportato dal software è particolarmente importante nel determinare l'ambiente in cui il musicista si trova ad operare. La questione che si pone è se si deve inventare un nuovo linguaggio o si può adattare un linguaggio già esistente. Se si osserva la massa di linguaggi esistenti per i sistemi di informatica musicale, si nota che i linguaggi più utilizzati e più potenti sono di tipo MUSIC V /5/, l'idea è dunque di vedere se MUSIC V, che è largamente diffuso nel mondo della "computer music", può essere adattato per il nostro progetto.

La prima osservazione che può essere fatta è che MUSIC V come la 4i sono concepiti in maniera modulare e esiste un parallelismo tra le due strutture (vedi figura 3).

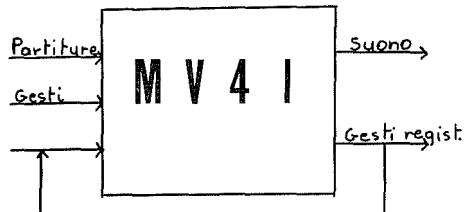
- La partitura degli eventi sonori scritti permette di "NOT", corrisponde al momento dell'esecuzione all'aggiornamento di dati nel terzo blocco di memoria (DM).

D'altra parte MUSIC V non è un sistema a filosofia tempo reale. I parametri sono definiti prima dell'esecuzione di ciascuna nota e non possono essere modificati. In un processore funzionante in tempo reale è particolarmente interessante poter modificare questi parametri in qualsiasi momento durante l'esecuzione delle note. Bisognerà dunque, aggiungere a MUSIC V questa possibilità.

Si noti inoltre che non è possibile concepire strumenti rientranti nella 4i. Per ottenere due suoni contemporaneamente dallo stesso algoritmo sono necessari due strumenti fisicamente presenti nella 4i. Questo impedisce di avere suoni che si sovrappongono allo stesso strumento. Ciò richiede di escludere la rientranza e di far attenzione all'assegnazione dei tempi.

Riassumendo le esigenze sono:

- aggiungere a MUSIC V la possibilità di gestire dati in tempo reale;
- trovare l'interfaccia più adatta tra le risorse effettivamente disponibili nella 4i e quelle praticamente illimitate di MUSIC V;
- nascondere all'utente l'architettura della 4i;
- permettere l'editing di partiture gestuali in tempo reale risultanti da interventi durante la esecuzione per compensare l'evanescenza dovuta al tempo reale (fig. 4).



"Fig. 4 Flusso dei dati durante l'esecuzione"

Costrutti linguistici	Risorse hardware
Algoritmo di sintesi	INS
Forme d'onda memorizzate	GEN
Parametri dell'algoritmo	NOT
	AM
	WM
	DM

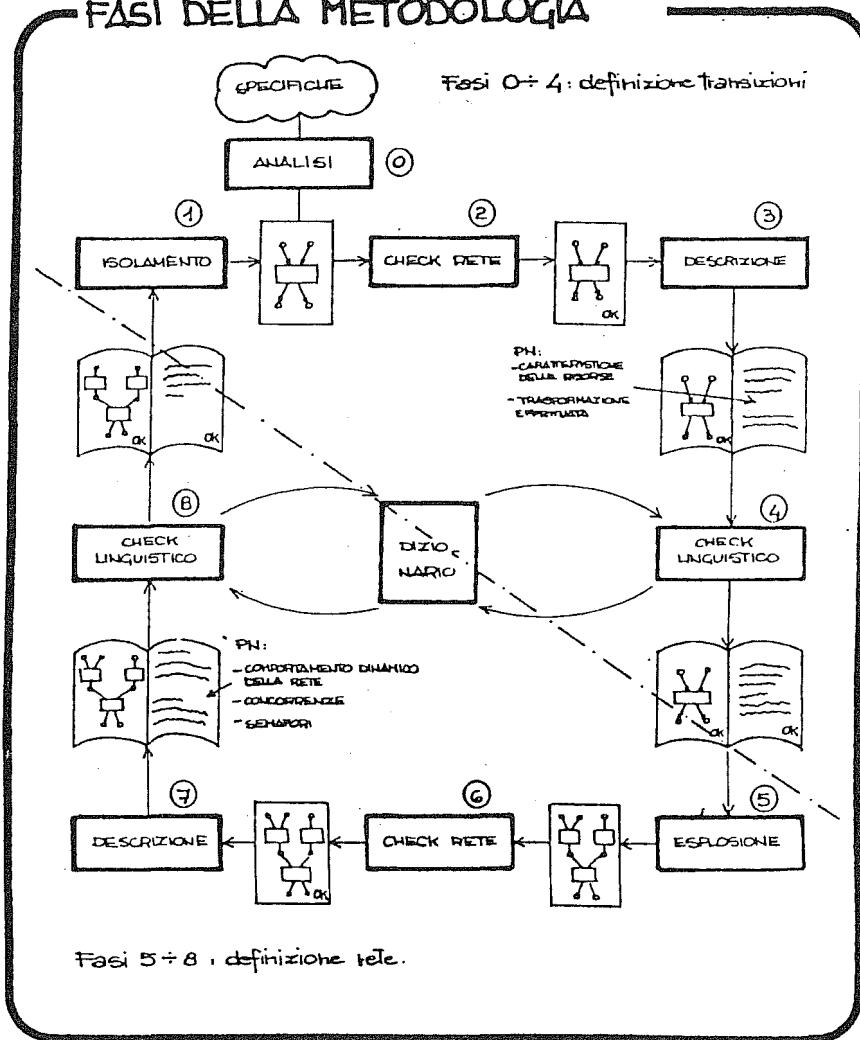
"Fig. 3 Confronto fra le strutture di MUSIC V e della 4i"

- La definizione dello strumento o dell'algoritmo di sintesi simbolizzato da "INS" è realizzato nella 4i da un blocco unico di memoria (AM).
- Le funzioni definite da "GEN" in MUSIC V, sono memorizzate in un altro blocco di memoria (WM).

In un sistema in cui si può intervenire durante la esecuzione, sono possibili, interventi a tre livelli nella scala dei tempi.

- I tempi detti "reali", sono quelli che corrispondono all'immediatezza di risposta del sistema a

FASI DELLA METODOLOGIA



"Fig. 5 Fasi della metodologia"

livello della sintesi. L'effetto della modifica di un parametro avviene senza ritardo apprezzabile rispetto al momento dell'azione gestuale.

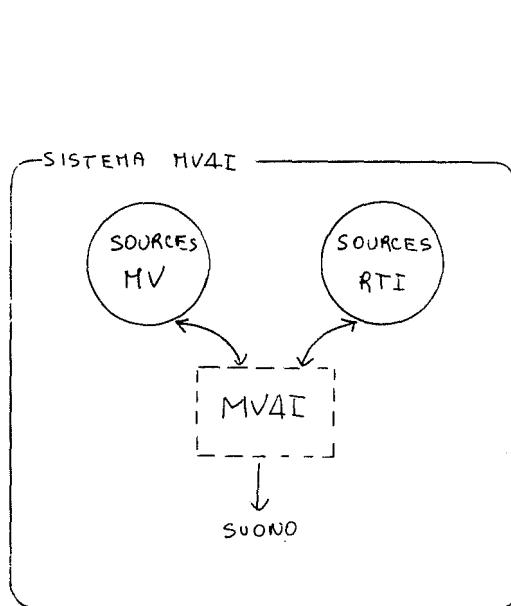
- I tempi "accelerati", sono quelli che corrispondono al tempo di risposta del sistema ai comandi di tipo interattivo.
- I tempi "lenti" sono relativi alla definizione dei dati mediante partitura prima della sintesi.

Con riferimento a questa distinzione abbiamo scelto di gestire le istruzioni di tipo "INS" e "GEN" con tempi lenti, ma con possibilità, se pre-compiute, di tempi accelerati; le istruzioni "NOT" con tutti i tre tipi di tempi, ma con particolare attenzione al tempo reale.

2.4. Uso d'una metodologia per lo sviluppo del software

E' stata usata una metodologia tratta dall'ingegneria del software come aiuto nello sviluppo del sistema MV4I. Questa metodologia si basa sull'uso delle reti di Petri, è stata applicata da De Poli e Haus /6/ ai problemi specifici dell'informatica musicale. Pensiamo che l'uso di questo mezzo consenta:

- di aumentare la qualità del software
- di facilitare la possibilità verso altri centri
- di facilitare il lavoro di gruppo
- di disporre di una documentazione completa sulle diverse fasi del progetto
- e di verificare la validità delle proposte fatte in /6/ per quanto riguarda certi aspetti relativi al tempo reale.



SISTEMA MV4I

FUNZIONE:

- Eseguire Istruzioni MV memorizzate in un file o introdotte in maniera interattiva
- Intervenire con comandi gestuali durante l'esecuzione per controllare i parametri della sintesi
- Registrare questi interventi gestuali.

INPUT:

- SOURCES MV: partiture MUSIC V memorizzate in un file o date tramite comandi interattivi al terminale
- SOURCES RTI: configurazione del sistema di comandi gestuali per il controllo della sintesi (in file o da comandi interattivi). I gesti.

OUTPUT:

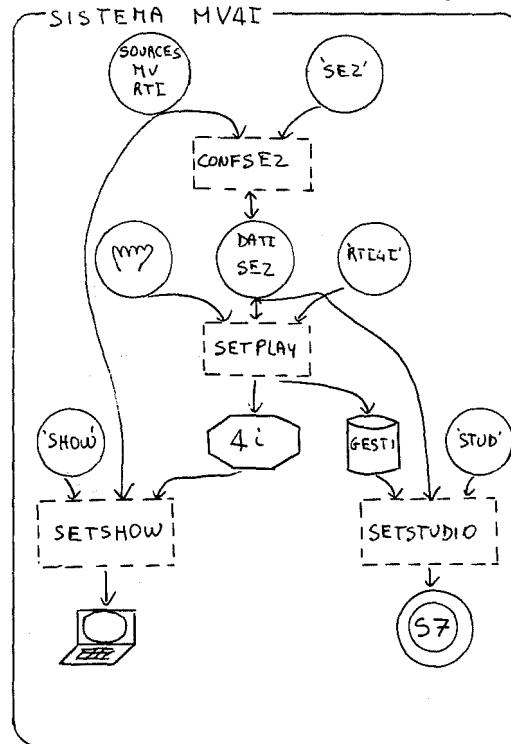
- SOURCES MV: partiture MUSIC V su file aggiornate, o comandi interattivi memorizzati
- SOURCES RTI: configurazione del sistema di comandi gestuali memorizzato su file. Gestire registri.
- Suono.

PROCESSO MV4I

```

repeat
  if COMMAND='SEZ' then CONFIGURAZIONE SEZIONE;
  if COMMAND='RTI4I' then SETPLAY;
  if COMMAND='SHOW' then SETSHOW;
  if COMMAND='STUD' then SETSTUDIO;
until COMMAND = 'QUIT'.
  
```

"Fig. 6 Sistema MV4I"



SISTEMA MV4I

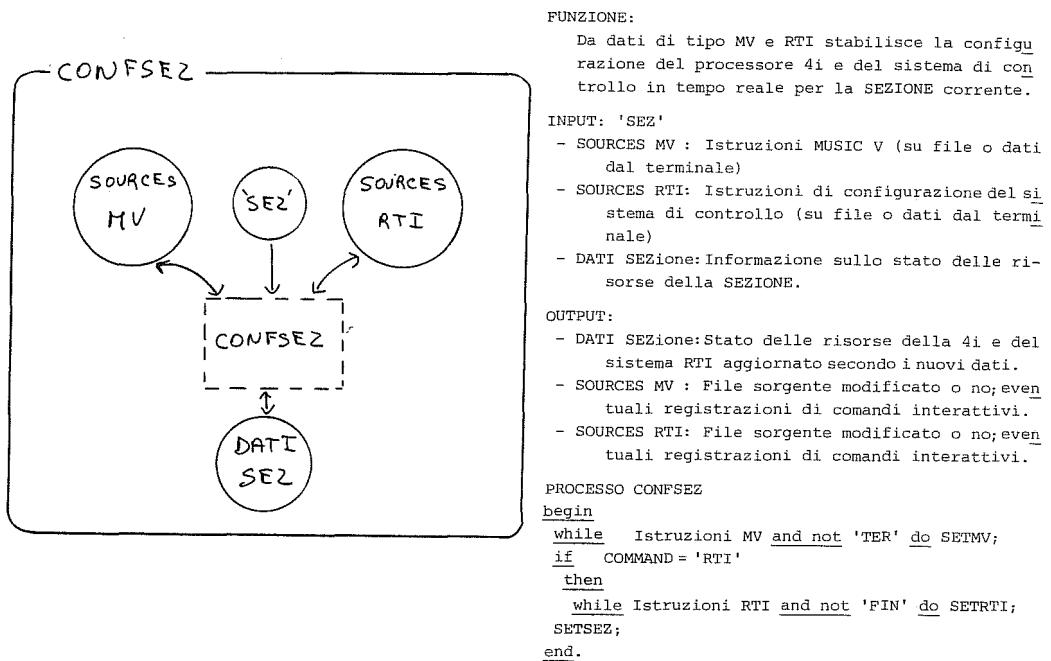
CONFIGURARE SEZIONE: accetta istruzioni del linguaggio MUSIC V e del linguaggio RTI. In uscita sono disponibili DATISEZ che rappresentano la configurazione, sia del processore 4i sia del sistema di controllo RTI, per una SEZIONE.

SETPLAY: Configurazione del sistema generale (PDP, 4i, RTI) che permette l'esecuzione di partiture MUSIC V in tempo reale. E' a questo livello che si può intervenire con i comandi gestuali, e registrare gli interventi.

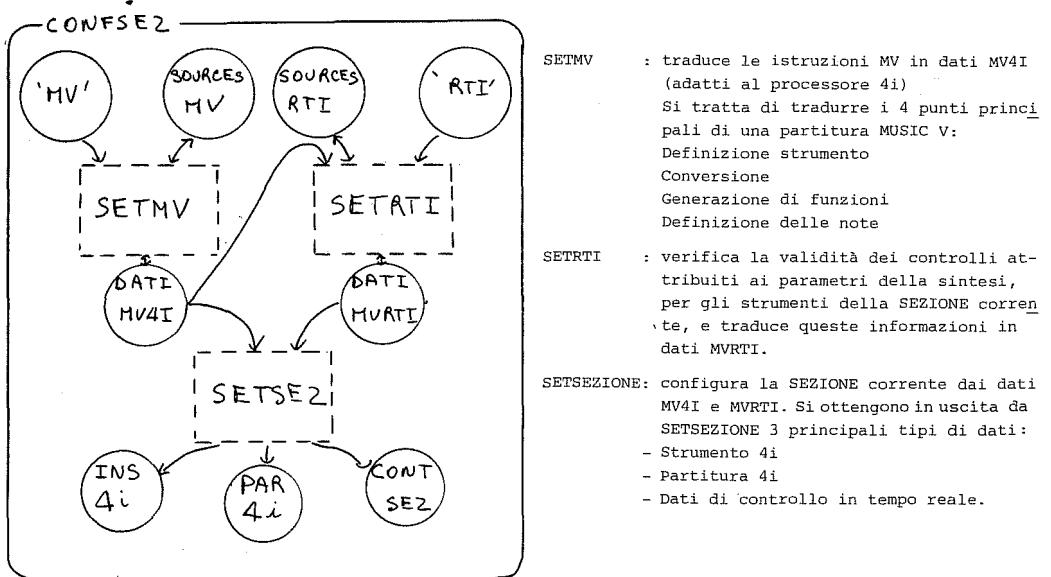
SETSHOW: Si può visualizzare lo stato del sistema e i dati memorizzati su files.

SETSTUDIO: Consente l'accesso alle partiture MV e alle partiture gestuali registrate durante una SEZIONE. Queste partiture possono essere mandate al S7 (sistema 7) per elaborazioni più sofisticate di tipo studio d'elaborazione sonora numerico.

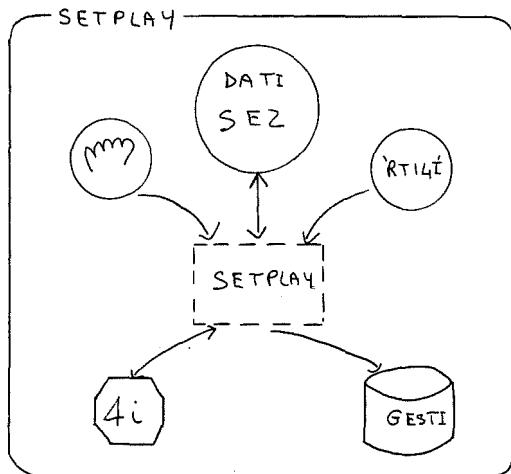
"Fig. 7 Sistema MV4I"



"Fig. 8 CONFSEZ"



"Fig. 9 CONFSEZ"



FUNZIONE: gestione dei dati della SEZIONE in tempo reale. Consente di suonare la partitura, di controllare la sintesi in tempo reale, di registrare i gesti, e di disporre dei dispositivi di comunicazione del sistema (video, tastiera terminale).

INPUT - 'RTI4I'

- DATISEZ Partiture e tabelle dei controlli
- Ingressi gestuali
- 4i e altri dispositivi del sistema.

OUTPUT - Dati da inviare nella DM della 4i

- Dati registrati
- Eventuale ritorno al controllo sotto sistema operativo RT11
- Suono.

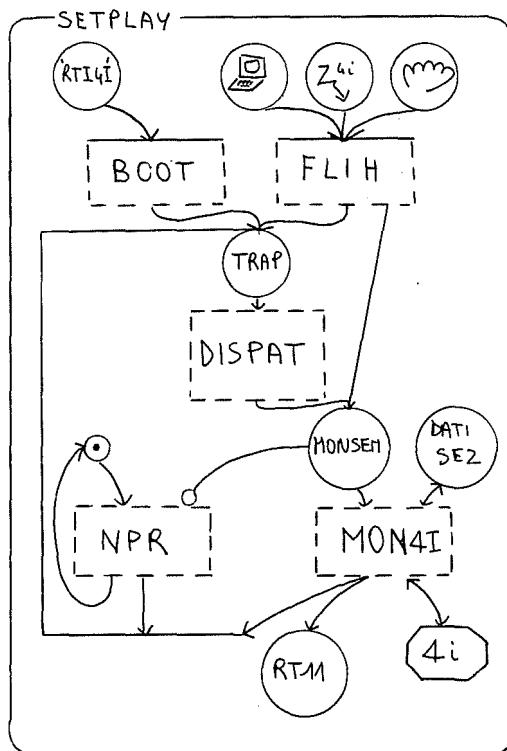
PROCESSO SETPLAY

```

begin
  BOOT;
repeat
  while INTERRUPT do
    begin FLIH; MONSEM:=MONSEM+1; end;
  while TRAP do
    begin
      DISPAT;
      MONSEM:=MONSEM-1;
      if MONSEM=0 then NPR;
      if MONSEM>0 then MON4I;
    end;
  until RT11 request;
end.

```

"Fig. 10 SETPLAY"



BOOT : procedura d'inizializzazione del sistema di gestione in tempo reale. Essa disabilita gli interrupts e salva il contesto in uscita dal sistema operativo RT11. Poi esegue il cambiamento di contesto relativo a SETPLAY, abilita di nuovo gli interrupts e attiva i processi di stampamessaggi.

FLIH : insieme di routines di gestione degli interrupts provenienti dalla tastiera del terminale, dallo schermo, dal clock PDP, dai dispositivi di comandi gestuali e dai timers della 4i.

DISPAT: Procedura che interviene ogni volta che il processo corrente rimane bloccato ad esempio in attesa di operazione di tipo I/O. Il DISPATCHer è incaricato di assegnare alla CPU un nuovo processo fra i processi pronti ad intervenire e secondo criteri di priorità.

NPR : Processo nullo (con priorità più bassa), che non fa niente e gira su se stesso, è chiamato quando la CPU è libera.

MON4I : insieme dei processi usati per la gestione del processore e quella degli altri devices.

"Fig. 11 SETPLAY"

Usando questa metodologia si dispone alla fine del progetto di un documento "PSPN" che lo descrive secondo una procedura "Top Down" /7,8,9/. Ciascuna fase è descritta per mezzo di una grafo utilizzante una simbologia che deriva dalle teorie delle reti di Petri sulla pagina sinistra, seguito da una descrizione puramente linguistica sulla pagina destra, che descrive le risorse utilizzate in questa fase e le trasformazioni che devono subire. La figura 5 descrive le diverse fasi di utilizzazione della metodologia durante lo sviluppo del software.

Questa metodologia è stata inoltre utilizzata come metodo d'analisi dei diversi sistemi che impiegano processori di tipo 4n, e ha permesso di mettere in evidenza certe caratteristiche comuni che hanno potuto essere sfruttate anche al livello di questo progetto. L'uso di questa metodologia si è rivelato essere un efficace strumento di lavoro ben adatto ai problemi da risolvere.

3. STRUTTURA DEL SOFTWARE MV4I

In questo paragrafo viene presentata per mezzo della metodologia la struttura del sistema con le due prime "esplosioni".

Le figure 6 e 7 descrivono in generale la prima esplosione del sistema. Le figure 8 e 9 descrivono SETSEZ che stabilisce la configurazione della 4i e del sistema di controllo per la sezione corrente. Per sezione si intende il periodo durante il quale la configurazione (algoritmo di sintesi, funzioni memorizzate, sistema di controllo) resta fissa. La sezione definisce pertanto il quadro di riferimento, all'interno del quale si può intervenire con comandi gestuali durante l'esecuzione. Questa definizione, oltre che a chiarire le idee all'utente, serve per facilitare la programmazione e l'editing delle partiture gestuali.

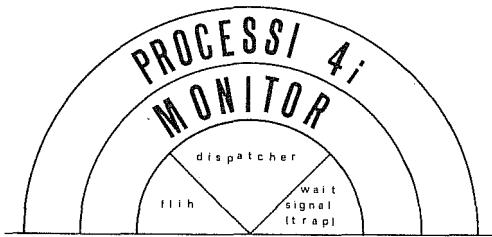
Le figure 10 e 11 descrivono SETPLAY che gestisce i dati in tempo reale simulando una macchina virtuale. È concepito come un sistema operativo per processi paralleli concorrenti che dialoga direttamente con il sistema sostituendo il sistema operativo RT11 del PDP. È costituito da un nucleo comprendente un FLIH (First Level Interrupt Handler) incaricato del trattamento delle interruzioni, da primitive di sincronizzazione tra i diversi processi (WAIT e SIGNAL) e da un organo di distribuzione dei processi verso la CPU (DISPATCHEER). Ciascuno di questi processi che riguardano sia la 4i che le altre periferiche del sistema, si vedrà concesso l'accesso alla CPU del PDP secondo certe esigenze riguardo la sincronizzazione e la gerarchia nel sotto insieme MON4I (vedi fig. 12).

4. STRUTTURA DEI DATI E CONTROLLI IN TEMPO REALE

Dopo aver presentato la struttura generale di MV4I, vengono ora date alcune indicazioni sulla struttura dei dati, come si presenta al momento dell'esecuzione, e sui controlli previsti.

4.1. Struttura dei dati

Visto il parallelismo tra le diverse parti di una



"Fig. 12 Struttura del software del sistema"

partitura MUSIC V (INS, GEN e NOT) e l'architettura del processore, ritroviamo grosso modo tre differenti tipi di dati in uscita da SETMV.

- Le istruzioni INS sono trasformate in "Patch" da effettuare al livello dell'AM, cioè una matrice 1024 x 12 bits dove sono memorizzate le connessioni da realizzare fra i diversi moduli base del processore, a immagine dell'AM.
- Le istruzioni GEN danno luogo alla costruzione di una tabella che elenca le 16 funzioni di 4 k disponibili durante una sezione. Grazie a questa tabella possono essere reperite le funzioni precalcolate e memorizzate sul disco che devono essere trasferite nella WM.
- Le istruzioni NOT dovranno subire un trattamento più complesso e articolato, per il fatto che viene impiegato uno processore hardware funzionante in tempo reale, in particolare si dovranno gestire le pause tra le note, scegliere una struttura dei dati efficiente per l'aggiornamento dei parametri in tempo reale e flessibile per quanto riguarda l'integrazione con i dati che derivano dai gesti.

Esaminiamo questi punti.

Quando la durata d'una nota è inferiore all'intervallo di tempo relativo all'inizio della nota successiva, c'è un tempo di silenzio tra le due note.

In un processore hardware come la 4i, in cui non si può bloccare uno "strumento" indipendentemente dagli altri, è richiesta la produzione esplicita di questo silenzio. Abbiamo quindi considerato lo strumento come risultante dell'associazione di:

- moduli che realizzano l'algoritmo di sintesi
- un timer incaricato di gestire la durata degli eventi
- un modulo LUNI che genera dei segnali di tipo in

viluppo a segmenti da moltiplicare al segnale di uscita dallo strumento che realizza l'algoritmo di sintesi.

In questa maniera lo strumento non è stato bloccato ma solo zittito, e gli è stato imposto un unico inviluppo globale d'ampiezza. Ne risulta pertanto una minora generalità senza però grossi svantaggi.

Si può osservare inoltre che in MUSIC V ciascuna istruzione NOT è considerata come un evento complesso, la cui evoluzione dipende da funzioni precalcolate. Questo può essere considerato come una forma di rigidità. Abbiamo pensato all'interesse che potrebbe rappresentare la messa in evidenza di due livelli nella descrizione di una NOT: un evento sonoro detto macroevento è composto in una successione di microeventi. Ciascuno di questi microeventi è definito dalla variazione di qualche parametro. Per esempio se un inviluppo è realizzato con dei segmenti di pendenza diversa, è conveniente considerarlo come un macroevento, e i suoi diversi componenti (attacco, regime, decadimento) come microeventi.

Una partitura è quindi una successione di NOT che definiscono un macroevento sonoro, scomposto da una successione di microeventi, e da una pausa. Queste informazioni insieme a quelle che derivano dagli interventi gestuali dati in tempo reale costituiscono i dati da fornire al processore durante l'esecuzione.

Per aumentare la flessibilità del sistema abbiamo previsto di poter utilizzare i dati, e quindi di leggere una partitura, sia in maniera verticale che orizzontale. Ciò intendiamo per lettura verticale quando i parametri sono sincronizzati nel tempo al momento della partenza dell'inviluppo; lettura o-

rizzontale, quando i parametri evolvono indipendentemente da ogni forma di sincronizzazione ciascuno con la sua durata. Il fatto di poter agire su un parametro separato dai suoi "fratelli" può essere utile al momento della ricerca sperimentale di un valore o di un insieme di valori da assegnare ai parametri.

Questo ci ha condotto a descrivere una partitura relativa a uno strumento sotto la forma schematizzata nella figura 13, e questa costituisce la base della nostra struttura di dati.

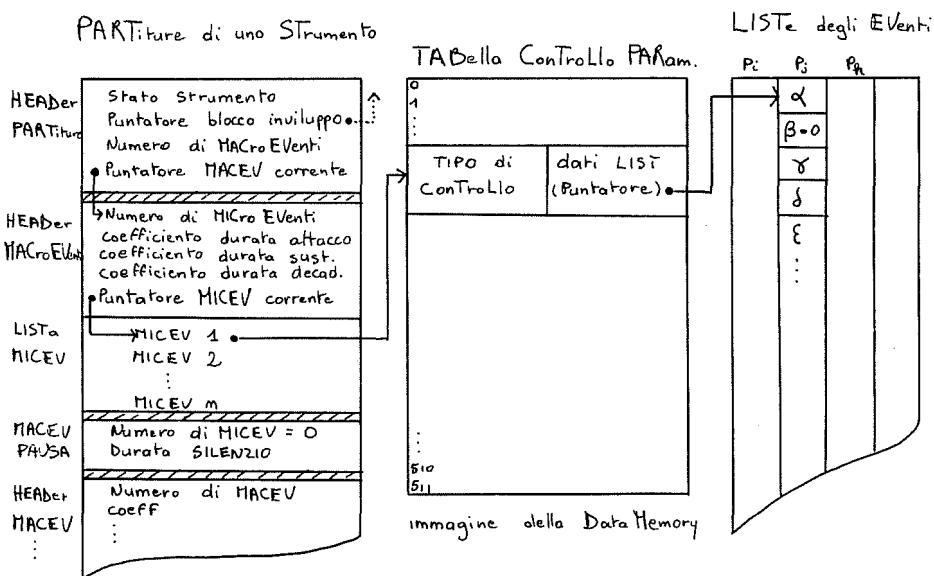
La parte sinistra descrive la partitura "verticale" per uno strumento come successione di macroeventi e di pause. Si noti che i microeventi fanno riferimento a una locazione della tabella di controllo e non al valore da assegnare al parametro. Questo consente la gestione dei tempi di intervento e dei valori sia provenienti dalla partitura che dai comandi gestuali. Si è resa quindi agevole la lettura sia verticale che orizzontale della partitura.

4.2. Relazioni fra partitura e comandi gestuali

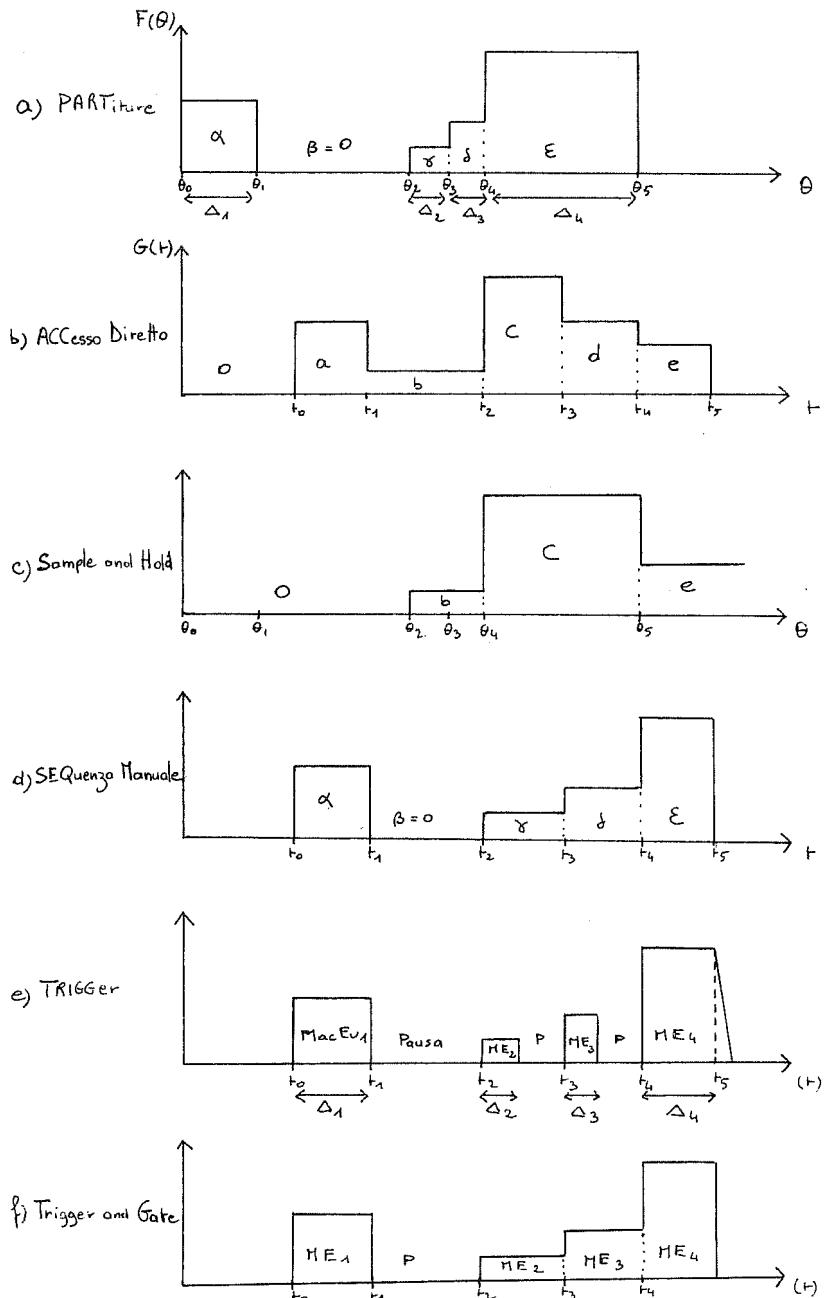
Dalle considerazioni precedenti risulta che sono possibili vari tipi di controllo dei parametri con i comandi gestuali. In figura 14 sono riportate le combinazioni più significative tra le due evoluzioni possibili di un parametro nel tempo, date dalla partitura o in tempo reale dai comandi.

In essa abbiamo considerato le due evoluzioni come descritte da due funzioni indipendenti campionate nel tempo. Ciascun punto significativo è rappresentato da una coppia valore-tempo.

Combinazioni relative alla lettura orizzontale.



"Fig. 13 Descrizione schematica dei dati (partitura) in MV4I"



"Fig. 14 Descrizione delle relazioni tra partitura e comandi gestuali"

- a) F(θ) rappresenta quella descritta dalla partitura.
- b) G(r) rappresenta quella data dal comando gestuale.
- c) Sample and Hold: I tempi della partitura sono associati ai valori tratti dal comando gestuale. Viene conservata l'articolazione degli eventi e all'inizio di ogni evento viene letto il valore da assegnare al parametro ad esempio da un potenziometro.
- d) Sequenza manuale: I tempi d'azione dei comandi gestuali sono associati con i successivi valori della partitura tratti dalle liste. Ad esempio in questo modo si può cercare il valore adatto del parametro, non a caso ma in una lista già elaborata.

Nelle combinazioni relative alla lettura verticale si tratta di sincronizzare tra di loro un gruppo di parametri.

Si lavora quindi sui tempi d'inizio e le durate che definiscono l'articolazione tra i diversi eventi sonori.

- e) Trigger: il comando gestuale determina l'inizio del macroevento, e la sua durata rimane quella fissata nella partitura.
- f) Trigger and gate: il comando gestuale determina sia l'inizio che la durata del macroevento.

E' stato posta particolare attenzione, nell'organizzare la struttura di dati e nel preparare i processi relativi alla loro gestione, per consentire l'implementazione semplice e efficiente di tutte queste interazioni fra partitura e comandi gestuali.

In questa descrizione per semplicità non sono stati accennati i problemi della conversione dei valori ricco di implicazioni nella pratica musicale /10/ e quelli della registrazione dei gesti.

5. CONCLUSIONE

In questo lavoro sono stati descritti le motivazioni, le finalità e le scelte per la realizzazione di un software per un processore numerico di suoni in tempo reale 4i.

Si è voluto realizzare un sistema flessibile e nello stesso tempo efficiente per i musicisti, e che quindi non fosse troppo legato né ad una applicazione particolare né alla struttura fisica del processore.

L'uso di MUSIC V come linguaggio di riferimento costituisce una base culturale che definisce un quadro di riferimento familiare al musicista. La possibilità di intervenire con i comandi gestuali in tempo reale ci ha condotto a definire alcune estensioni delle possibilità d'uso del linguaggio.

Questo progetto è in fase di sviluppo, sono stati realizzati i punti fondamentali (interprete MUSIC V e processi base per la gestione in tempo reale). Alcune prove in applicazioni particolari con musicisti, hanno dimostrato la validità dell'impostazione e forniti utili suggerimenti per gli ulteriori sviluppi.

Si è visto la grande importanza di disporre di un linguaggio efficace nella descrizione dei tipi di controllo da effettuare con i comandi gestuali e della loro relazione con la partitura scritta e la registrazione dei gesti precedenti. A questo proposito va segnalata anche l'importanza da dare alla parte relativa alla conversione dei valori dei parametri. Essa non consiste solo in cambiamento di unità di misura ma dipende in maniera complessa sia dal parametro in questione che da altri parametri contemporanei e a sua volta può influenzare altri valori. Va inoltre prevista la compatibilità tra dati provenienti dalla partitura e dati provenienti dai comandi gestuali.

Per un uso musicale del sistema, la parte conversione non può essere semplificata né ridotta, per cui il software diviene particolarmente pesante specialmente per quanto riguarda il tempo di risposta. Si presenta quindi la necessità di impiegare le risorse del processore oltre che per la sintesi, anche per una pre-elaborazione dei parametri.

Alla realizzazione di questo progetto hanno collaborato due gruppi di studenti d'Ingegneria Elettronica dell'Università di Padova: Gastone Gonzato e Giorgio Parladori per l'interprete MUSIC V; Franco Azzolini, Mauro Franchin e Massimo Mason per la parte gestione in tempo reale.

Questa ricerca è fatta in collaborazione tra il CSC dell'Università di Padova, l'IRCAM di Parigi e il LIMB della Biennale di Venezia. Un particolare ringraziamento va a Peppino Di Giugno, realizzatore del processore 4i, per la sua indispensabile collaborazione e i suoi continui suggerimenti. Si vuole inoltre ringraziare l'INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et Automatique) che ha consentito con una borsa di studio il soggiorno a Padova di Sylviane Sapir durante un anno.

BIBLIOGRAFIA

- /1/ Documentazione sistema 4i, C.S.C. (1983).
- /2/ C. Abbott, The 4CED Program, Computer Music Journal, vol. 5 n° 1 (1981) 13-33.
- /3/ P. Prevot, Controllo in tempo reale di un sistema di trattamento/sintesi del suono, Atti 4º Colloquio di Informatica Musicale, vol. 1 (1981) 131-159.
- /4/ W. Burton, G. Fedarkow e al., The structured sound synthesis project (SSSP): an introduction, Technical Report CSRG - 92 (1978).
- /5/ M.V. Mathews, Technology of computer music, (M.I.T. press, Cambridge, Mass. 1969).
- /6/ G. De Poli, G. Haus, Ingegneria del software ed informatica musicale, Proc. Congresso Annuale AICA, vol. 1 (1982) 415-430.
- /7/ G. Haus, Metodi di definizione di specifiche funzionali di procedure software con uso di reti di Petri, P.F.I. sottoprogetto P1 obiettivo METOD, rapporto n. 24 (1980).
- /8/ G. Degli Antoni, G. Haus, Musica e Causalità, LIMB quaderno 3 (1983) 23-29.

- /9/ A.A. Tan, Simulation graphs: a general tool for modeling simulation designs, Simulation (1981).
- /10/ A. Vidolin, Interazione fra i livelli di rap

presentazione dell'informazione musicale nel la composizione mediante elaboratore, Automazione e Strumentazione vol. 28 n. 2 (1980) 144-150.

UN PROCESSORE RAPIDO FLOATING-POINT

Di Giugno G., Guarino E.

I.R.C.A.M. 31, Rue St.Merri 75004 Paris (FRANCE)

La comunicazione inizia descrivendo i motivi che ci hanno indotto ad intraprendere il progetto di un processore F.P. ed i risultati che ci proponiamo di ottenerne: principalmente il potenziamento della "4X" e del suo Host Computer per ciò che concerne il Digital Signal Processing in generale, e le applicazioni in tempo reale all'analisi/sintesi acustica in particolare. Il processore consta di 4 operatori interconnessi (convertitore Float-Intero e viceversa, addizionatore, moltiplicatore, divisore) nonché dell'unità di controllo (memorie dati, indirizzi, microprogramma e sequencer); l'architettura è del tipo Pipe-line con un massimo di 4 livelli e con un ciclo elementare di circa 60 nusec, cioè pari a quello della "4X". Sono poi descritti brevemente gli algoritmi scelti per ogni operatore e alcuni dettagli maggiormente interessanti del progetto. Infine sono illustrate, a titolo d'esempio, alcune delle applicazioni previste per il prototipo.

1. INTRODUZIONE

L'esperienza della "4X" ha rivelato talune limitazioni per determinate applicazioni e, in particolare, per i processi di analisi del suono (FFT, LPC, etc.) i quali richiedono l'implementazione di filtri di ordine elevato, mixaggi di segnali, filtri a traliccio, etc.

Tutti questi trattamenti effettuati con un'aritmetica a 24 bit in virgola fissa introducono un deterioramento del segnale facendo scendere sensibilmente il rapporto S/N a livelli non più professionali. Di qui l'idea di progettare un processore Floating Point rapido e con possibilità di sincronizzazione con la "4X".

Gli "Array processor" esistenti, infatti, non sono sufficientemente rapidi per i processi sudetti, né facilmente sincronizzabili con la 4X. Un'applicazione collaterale del processore consistrà nell'accelerazione di calcoli deputati all'Host Computer, ma lo scopo principale resta il potenziamento della "4X" per il "D.S.P." in tempo reale. Il progetto prevede 4 operatori e un'unità di controllo contenente le memorie dati, le memorie indirizzi, la RAM di microprogramma e la logica di indirizzamento dei dati; per il cablaggio dei 750 chip previsti, si dovranno connettere qualcosa come 15.000 punti di wire-wrap su 3 piastre 34x40 cm: l'architettura prescelta rispecchia quella della 4X (pipe-line a 60 nsec, uscite degli operatori convergenti in un bus, etc.), ma ne migliora determinate caratteristiche (più memorie dati multiplexabili verso gli ingressi degli operatori, più interconnessioni tra gli operatori stessi, etc.). Gli operatori eseguono le seguenti funzioni:

- 1) Conversione Intero-F.P. e viceversa
- 2) Addizione/Sottrazione/AND/OR/XOR
- 3) Moltiplicazione
- 4) Divisione.(\$)

Essi sono in grado di operare su parole di 32 bit interpretandole o come numeri interi in doppia precisione (complemento a 2) oppure come numeri F.P. in precisione singola secondo lo standard IEEE (6.1) : segno, esponente di 8 bit in codice eccesso 128, frazione di 23 bit più il bit nascosto; essi possono anche correggere gli "overflow" con la saturazione e gli "underflow" con l'azzeramento.

Il campo di rappresentabilità con 24 bit interi in complemento a 2 (4X) è:

$$-2^{23}, 2^{23} - 1$$

con grado di definizione pari a 1.
Per il F.P., esso diviene (modulo):

$$2^{-129}, 2^{128}$$

con un grado di definizione proporzionale al numero rappresentato; la densità dei numeri rappresentabili, quindi, è massima intorno allo "0" e va diradandosi al crescere del modulo mantenendo percentualmente costanti gli errori di arrotondamento. Questo conferisce una precisione molto maggiore alle elaborazioni e limita l'introduzione di rumore.

La struttura parallela delle unità di calcolo, inoltre, consente di effettuare sovrapposizioni nei trattamenti complessi, ottenendo i risultati ad un "rate" molto maggiore di quello atteso sommando brutalmente i tempi di calcolo.

Per avere un'idea, si potranno implementare:

- filtri IIR in 375 ns per cellula del 2° ordine
- filtri FIR in 135 nsec per cellula elementare

(§) - Per la precisione, l'unità esegue l'inversione dell'operando in ingresso ($1/x$); la divisione va poi completata con una moltiplicazione.

- calcolo di funzioni matematiche sviluppabili in serie (sin, cos, sqrt, exp, log, etc), ovvero, calcolo di un polinomio in x fino alla 5^a potenza in 600 nanosec.
- analisi LPC in circa 800 nanosec per cellula a traliccio, compreso il calcolo dei coefficienti (per la relativa sintesi, il tempo di calcolo è solo di 315 ns/cellula giacché i coefficienti sono già calcolati). Cio' significa, comunque, poter effettuare analisi LPC per 2 canali in tempo reale a oltre 30 KHz di sampling rate.

2. ARCHITETTURA DELL' F.F.P.P.

Schematicamente l'F.F.P.P. (Fast Floating Point Processor) si compone di 4 operatori e di una unità di controllo che gestisce lo smistamento dei dati memorizzati nei propri vettori di memoria, verso e dagli operatori ed invia i codici operativi contenuti nella memoria di microprogramma ogni 60 nsec (fig.1). Gli operatori ALU e MUL hanno 2 ingressi e un'uscita; inoltre le 2 uscite sono rinviabili ai propri ingressi per l'accumulazione e l'elevamento a potenza rispettivamente, oppure agli ingressi dell'altro operatore per la formazione di gruppi MUL-ADD e ADD-MUL; invece DIV e CNV hanno un solo ingresso e un'uscita. Infine l'uscita dell'operatore DIV il quale, come si è detto, esegue solo l'inversione del divisore, è inviata all'operatore MUL per l'eventuale completamento della divisione (moltiplicazione del dividendo per l'inverso del divisore).

Le uscite dei 4 operatori convergono in un "BUS" (chiamato "/BUS" per analogia con la 4X) attraverso il quale i risultati possono riconfluire nelle memorie dati, sia per essere riutilizzati a tempo debito, sia per essere inviati in uscita quali risultati finali di un'elaborazione.

Il progetto è stato sviluppato facendo uso in massima parte della tecnologia "FAST" (Fairchild Advanced Schottky TTL). La tavola 1 riassume le caratteristiche dei 4 operatori.

Oper.	operazioni	n. cicli	correzione ovfl/udfl
ALU	A+B, A-B, B-A (FP)	4	si si
	N+M, N-M, M-N (I) AND, OR, XOR, CLR, SET	1	si si
MUL	X*Y (FP)	4	si si
	I*I (I) (\$\$)	4	- -
DIV	I/D (FP)	3	si -
CNV	FP in I		si si
	I in FP	2	- -

(\$\$) - In uscita si puo' selezionare la MSWd o la LSWd di 32 bit.

Tav. 1 - Caratteristiche degli operatori FFPP

3. STRUTTURA E ALGORITMI DEGLI OPERATORI

3.1. ALU (Addizionatore e unità logica)

Due numeri rappresentati in F.P. possono essere sommati immediatamente solo se hanno esponenti uguali; consideriamo, ad esempio, i numeri:

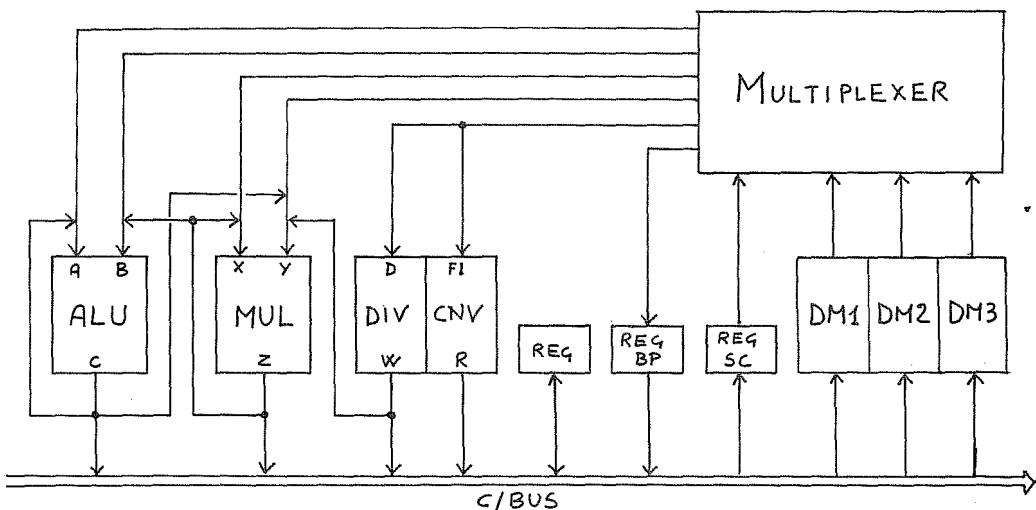


Fig. 1 - Schema a blocchi dell'FFPP

$$A = 2^E \cdot F_A ; \quad B = 2^E \cdot F_B$$

la loro somma, $C = A + B$ è data da:

$$C = 2^E \cdot (F_A + F_B)$$

Naturalmente, qualunque siano A e B , anche con esponenti diversi, ci si può ricondurre al caso precedente con un'operazione di "allineamento" delle frazioni (6.2). A tale scopo, l'ALU effettua un paragone tra gli esponenti e tra le frazioni degli operandi per inviare la frazione dell'operando minore allo "Shifter/R" (fig.2), mentre la differenza degli esponenti indica il numero di shift da effettuare per ottenere l'allineamento. Allineate le frazioni, si può procedere alla loro addizione o sottrazione; si noti a tal proposito che, comunque scelti i segni di A e B , e qualunque sia l'operazione da eseguire ($A+B$, $A-B$, $B-A$), ci si riconduce sempre, per quanto concerne le frazioni, ad una delle operazioni suddette. Il risultato deve essere poi normalizzato: esso viene pertanto inviato in un Encoder che determina il numero di shift left da eseguire; lo stesso numero va anche sottratto all'esponente. La frazione normalizzata dallo "Shifter/L", viene poi arrotondata, mentre il dispositivo di "overflow protection" controlla l'attendibilità del risultato.

Per eseguire l'intera addizione in 4 cicli di 60 nsec, sono stati progettati uno shifter "l-shot/32 bit", l'Encoder e i comparatori con tempi di risposta dell'ordine dei 20 nsec. L'addizionatore a 32 bit, invece, impiega 25 nsec.

Per finire, qualche considerazione sugli errori: l'allineamento comporta talvolta la perdita dei bit meno significativi di una delle frazioni con conseguenti possibilità di errore.

Per annullare la percentuale degli errori si dovrebbero utilizzare unità di calcolo a 48 bit, ma questo comporterebbe un aumento sproporzionale dei tempi di calcolo e dell'hardware necessario per implementarli. La nostra scelta è ricaduta piuttosto su unità a 32 bit, peraltro necessarie per operare su interi a 32 bit, e sufficienti per ridurre a 1/100 mila la percentuale di errore sul bit meno significativo della frazione.

3.2. MUL (Moltiplicatore)

L'algoritmo moltiplicativo è senza dubbio più semplice dal punto di vista logico, mentre pone maggiori difficoltà realizzative.

Dati due numeri:

$$X = 2^{Ex} \cdot F_X ; \quad Y = 2^{Ey} \cdot F_Y$$

è ben noto che il loro prodotto Z è dato da:

$$Z = 2^{Ex+Ey} (F_X \cdot F_Y) = 2^{Ez} \cdot F_Z$$

Il prodotto delle frazioni sarà sicuramente compreso tra $1/4$ e 1 ; pertanto solo nel caso in cui risulti $F_Z < 1/2$, bisognerà procedere alla normalizzazione con lo shift a sinistra di una posizione e la sottrazione di una unità all'esponente. Per il calcolo del segno è sufficiente

eseguire l'exclusive OR dei segni di X ed Y ; per l'esponente basta un addizionatore a 8 bit. La moltiplicazione delle frazioni invece pone un problema: i moltiplicatori a 24 bit in commercio non sono sufficientemente veloci e, in più, presentano l'uscita (48 bit) sugli stessi piedini utilizzati per gli ingressi. Questo richiede una logica di gestione dell'I/O-BUS e rende praticamente impossibile la realizzazione di un pipeline veloce. Pertanto, volendo realizzare un'unità in grado di eseguire anche moltiplicazioni intere nel formato 32x32, abbiamo preferito implementare l'algoritmo di somma di 4 prodotti parziali 16×16 , impiegando 4 moltiplicatori in parallelo, che si inseriscono più agevolmente nella catena di pipe-line a 60 nsec (fig.3).

Contrassegnando con " m " ed " l ", rispettivamente, le parti più significativa e meno significativa, vale la relazione:

$$X \cdot Y = (X_m \cdot Y_m) + (X_m \cdot Y_l) + (X_l \cdot Y_m) + (X_l \cdot Y_l);$$

i prodotti parziali vengono sommati con 5 addizionatori da 16 bit (6.3). L'intera moltiplicazione richiede 4 cicli sia per operandi interi che in Floating Point.

3.3. CNV (Convertitore)

Distinguiamo i due tipi di conversione che sono necessari:

3.3.1 - Da Floating Point a Intero

La conversione è possibile, purché risulti:

$$0 \leq \text{exp} \leq 31$$

Altrimenti, per $\text{exp} < 0$, viene segnalato un underflow e il risultato della conversione sarà

$$I = 0$$

mentre per $\text{exp} > 31$, si ha overflow e risulterà

$$I = 011\ldots111$$

ovvero

$$I = 100\ldots000$$

a seconda che il segno sia positivo o negativo. Nei casi in cui l'esponente è compreso nei limiti suddetti, si procede shiftando a destra la frazione di un numero di posizioni dato da:

$$n = 32 - \text{exp}$$

All'uscita dello shifter si avrà così il modulo di I : per passare alla rappresentazione in complemento a 2, $|I|$ va complementato se "s" è negativo; infine, il risultato viene anche arrotondato per tener conto degli eventuali bit perduti nello shift (fig.4). La procedura è molto simile all'allineamento che si esegue prima dell'addizione (vedi 3.1. ALU).

3.3.2 - Da Intero a Floating Point

In questo caso la conversione non dà mai origine ad overflow o underflow. Il procedimento usato ricalca la normalizzazione eseguita dopo l'addizione (vedi fig.4 e ancora 3.1. ALU): l'ingresso I viene inviato ad un Encoder che dà la posi-

zione del più significativo "1" o "0" a seconda che il segno di I sia positivo o negativo. Si procede quindi allo shift a sinistra di I ottenendo una frazione normalizzata: basterà, a questo punto, complementarla o meno in funzione del segno per ottenere il modulo della frazione. Anche qui si provvede all'arrotondamento, giacché se il numero di bit significativi di I fosse superiore a 24 ($|I| > 2^{\text{exp}24}$), alcuni dei bit meno significativi verrebbero troncati. Infine, l'esponente proviene direttamente dall'uscita dell'Encoder. Anche se nella figura vengono mostrati separati, i due procedimenti utilizzano lo stesso shifter e lo stesso addizionatore per l'arrotondamento e la complementazione. Cio' vuol dire che bisogna scegliere l'una o l'altra delle conversioni, il che, peraltro, non rappresenta un handicap dato che di norma se ne esegue una all'inizio e l'altra alla fine di un trattamento. Entrambe le conversioni richiedono 2 cicli per l'esecuzione.

3.4. DIV (Divisore)

L'algoritmo più usato per la divisione F.P. (6.2, 6.3) si basa sulla lettura di una tabella cablata in una ROM per un risultato di prima approssimazione, e in una serie di moltiplicazioni e complementazioni reiterate per la minimizzazione dell'errore (fig.5). Questo metodo, nella migliore delle ipotesi, ovvero limitandosi ad una sola iterazione, il che comunque incide sulla precisione, richiede:

- 1 accesso in ROM;
- 1 complementazione;
- 3 moltiplicazioni 24x24;

pertanto non si presta né ad un'implementazione rapida, né tanto meno alla struttura pipe-line prevista per il processore. Abbiamo optato allora per una soluzione che permette di raggiungere sufficienti rapidità e precisione: l'interpolazione.

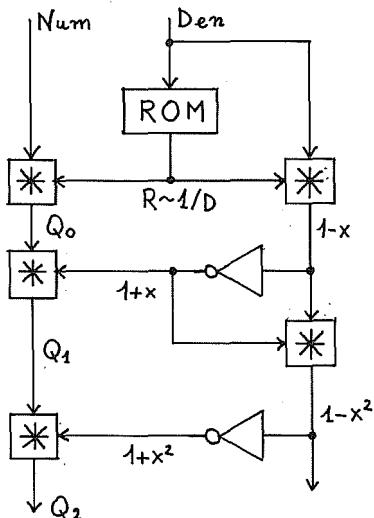


Fig. 5 - Divisore ricorsivo

zione lineare della funzione $y=1/x$ (fig.6).

Il calcolo così effettuato richiede solo:

- 1 accesso in 2 ROM parallele (40 ns);
- 1 moltiplicazione 16x16;
- 1 addizione;

e il tutto può essere eseguito in 3 cicli.

La divisione, poi, deve essere completata moltiplicando il numeratore per l'inverso del denominatore.

La simulazione di questo algoritmo in software ha dimostrato che si riesce ad ottenere un errore statistico dell'ordine di $1/1000$ sul bit meno significativo della frazione.

4. L'UNITÀ DI CONTROLLO

L'unità di controllo deve gestire il movimento dei dati e delle istruzioni all'interno del processore e verso l'interfaccia: dalla sua funzionalità dipende in pratica gran parte dell'efficienza del FPP. Anche per questo motivo alcune scelte sulla sua architettura non sono ancora definitive, tuttavia essa presenterà delle innovazioni rispetto alla "4X". Alcune decisioni saranno prese solo dopo aver analizzato le necessità legate all'implementazione degli algoritmi più complessi (FFT, LPC).

Inoltre, questa unità sarà assemblata per ultima dopo aver completato i test sui singoli operatori, test per i quali non è necessaria una gestione tanto sofisticata. Comunque sono già state formulate alcune ipotesi innovative.

Sarà mantenuta la separazione delle memorie dati e istruzioni, ma sono previste 3 memorie dati parallele: questo consentirà di inviare 2 operandi e riceverne un terzo nello stesso ciclo, ottimizzando così l'attività degli operatori.

E' previsto perciò un sistema di multiplexing dei dati per poter inviare dati da qualsiasi memoria in ciascun operatore (fig.1).

Un'altra ipotesi è di prevedere l'indirizzamento indiretto attraverso registri ad auto-incremento il che permetterebbe una gestione agevole di interi vettori di dati con una sola inizializzazione e con un loop di microprogramma.

Una terza ipotesi consiste nell'inserimento di istruzioni di "jump" (conditional, unconditional & subroutine): qui la scelta non è semplice dato che l'architettura pipe-line costringe ad attendere qualche ciclo per l'arrivo dei "conditional codes" mettendo in crisi l'efficienza del processore e il sincronismo con la "4X".

Si tratterà, come al solito, di trovare un compromesso tra versatilità e rapidità.

5. ESEMPI APPLICATIVI

5.1. Calcolo di un polinomio di 5° grado

Il calcolo di funzioni sviluppabili in serie, quali radici, funzioni trigonometriche (sin,cos, tan,etc.), iperboliche, esponenziali, logaritmi, etc., si riconduce sempre al calcolo di un polinomio del tipo:

$$P(x) = \sum_{i=0}^n A_i \cdot x^i$$

La fig. 8 illustra lo schema di una cellula necessaria per questo tipo di calcolo: essa consta di un'addizione e 2 moltiplicazioni, di cui una per il calcolo delle potenze di x . Per un poli-

nomio di 5° grado, ovviamente, ce ne vogliono 5. Il tempo di calcolo è 600 nsec.

5.2. Filtro IIR del 2° ordine

Un filtro ricorsivo di qualsiasi ordine puo' essere ottenuto connettendo in serie o in parallelo più cellule elementari del 2° ordine (6.4). La funzione di trasferimento di una cellula è in generale:

$$H(z) = \frac{C + A \cdot z(-1) + B \cdot z(-2)}{1 + a \cdot z(-1) + b \cdot z(-2)}$$

L'impiantazione del calcolo dipende da quale dei due termini del rapporto si preferisce calcolare per primo: la fig. 9 mostra lo schema a blocchi dell'impiantazione D-N (Denominatore-Numeratore) realizzata con il micropogramma illustrato nella tav.2: il tempo di calcolo per 4 cellule elementari è 1500 nsec, ovvero 375 nsec/cellula; il che equivale a dire che si possono impiantare 100 cellule con un Sampling Rate di 26 KHz.

5.3. Predizione Lineare

L'analisi della voce per mezzo dei codici predittivi si basa (6.5) sul filtraggio della sorgente con cellule a traliccio i cui coefficienti sono ricavati dai campioni d'ingresso: di cellula in cellula si riduce l'errore di predizione. La fig.10 mostra lo schema di una cellula elementare: per un'analisi a 16 KHz ce ne vogliono circa 20. Il calcolo dei coefficienti è effettuato secondo la formula:

$$K(i) = \frac{A(i)}{B(i)} = \frac{s^+ \cdot s^-}{(s^+)^2 + (s^-)^2} = \frac{P}{Q}$$

ma inoltre i termini della frazione vengono filtrati con un passa basso del 1° ordine per evitare variazioni troppo brusche:

$$A(i) = a \cdot A(i-1) + (1-a) P$$

$$B(i) = a \cdot B(i-1) + (1-a) Q$$

da cui:

$$A(i) = a \cdot (A(i-1) - P) + P$$

$$B(i) = a \cdot (B(i-1) - Q) + Q$$

La fig.11 illustra l'unità di calcolo dei coefficienti che richiede 6 moltiplicazioni, 5 addizioni e 1 divisione.

L'FFPP potrà eseguire l'intero calcolo di un coefficiente e di una cellula a traliccio in 800 nsec: l'analisi, dunque, potrà essere implementata in tempo reale con 40 cellule a circa 32 KHz di Sampling Rate.

La relativa sintesi (fig.12) non presenta problemi in quanto utilizza gli stessi coefficienti calcolati durante l'analisi.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

(6.1) Shai Mor: "Introduction to Floating Point Systems" PROGRESS (Fairchild Journal of Semiconductor), vol.10, N.4 (1982)

(6.2) A.Elfattah, A.Meltzer:
"Principles of Digital Computer Design"
Vol.1°, chap. 2-3 ; Prentice-Hall (!976)

(6.3) TRW: LSI Multipliers HJ Series
(Application note) (1978)
1. Larger Word Multiplication
2. Division using multiplication

(6.4) M.Bellanger: "Traitment numerique du signal" (vol.2) ENST (Ecole Nationale Supérieure des Telecommunications) (1979)

(6.5) J.D.Markel, A.H.Gray jr.:
"Linear prediction of speech"
Springer-Verlag, Berlin Heidelberg N.Y. (1976)

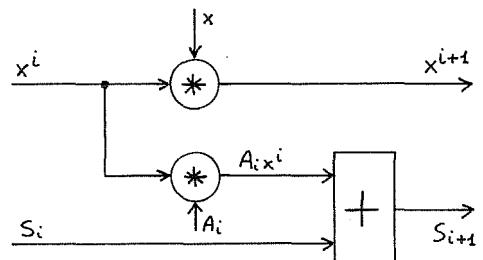


Fig.8 - Cellula per il calcolo di un polinomio

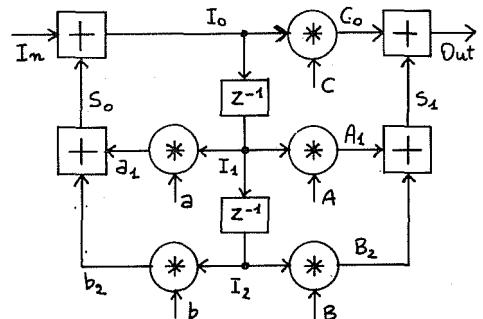


Fig.9 - Filtro ricorsivo del 2° ordine

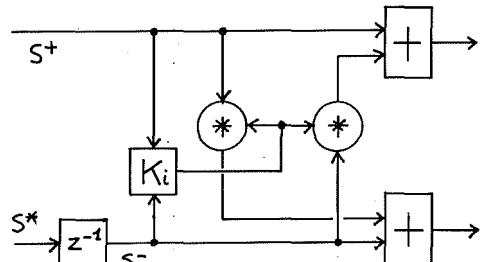


Fig.10 - Cellula per analisi LPC

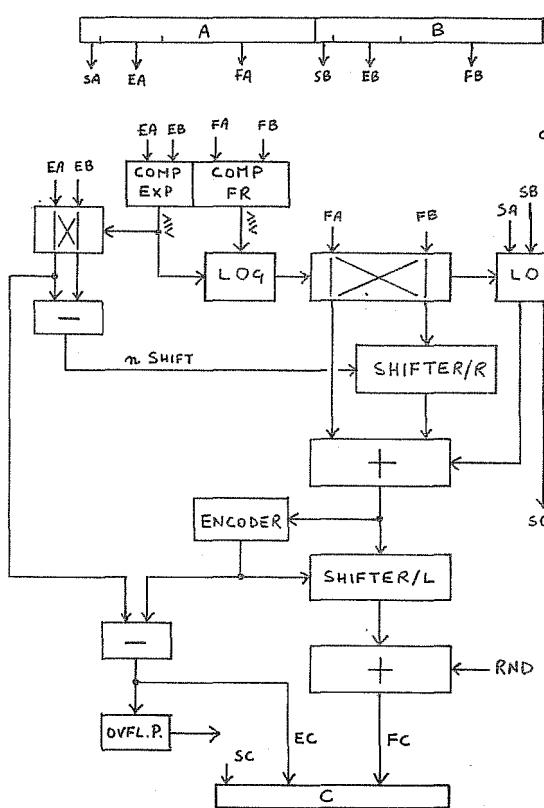


Fig.2 - Schema a blocchi dell'ALU

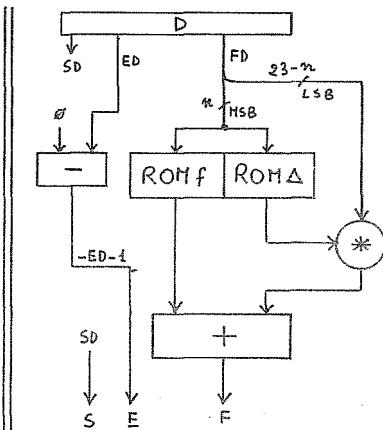


Fig.7 - Schema a blocchi di DIV

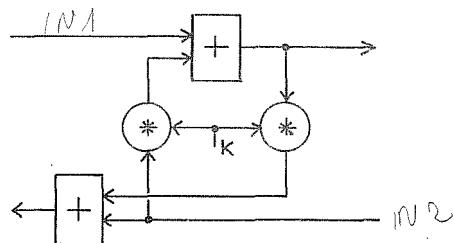


Fig.12 - Cellula per la sintesi LPC

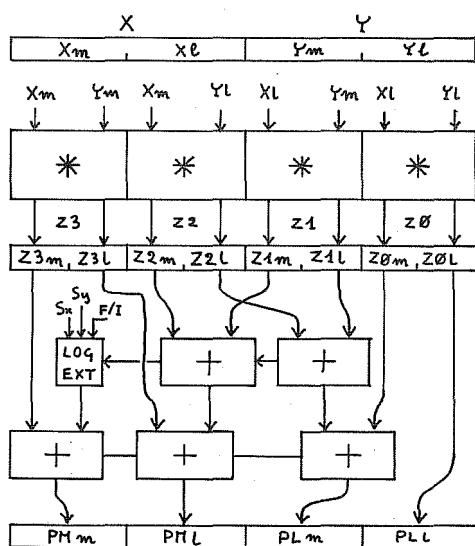


Fig.3 - Moltiplicatore 32x32

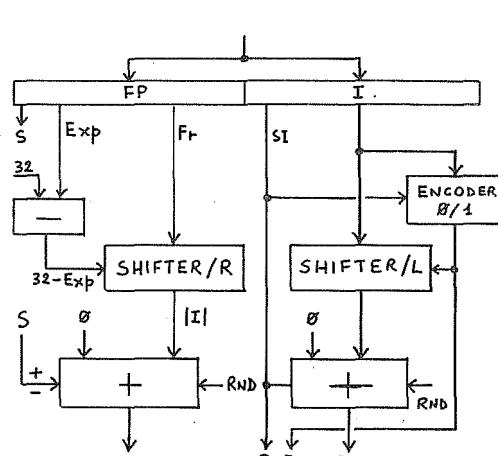


Fig.4 - Schema logico del CNV

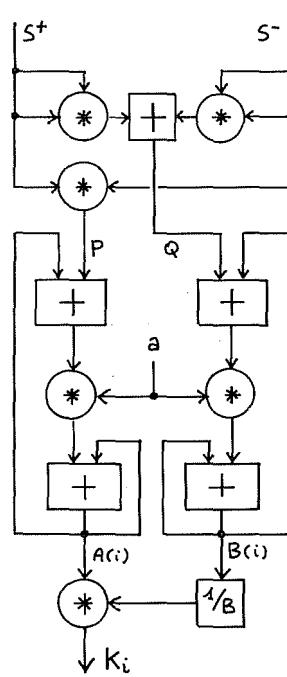


Fig.11 - Calcolo di un coefficiente LPC

CICLO	DM			MUL			ADD			BP	C/BUS
	M1	M2	M3	SC	X	Y	Z	A	B		
1	Out	b	I ₂	↑						CLOCK	
2					I ₂	b					
3											
4				↓	↓	↓					
5	I _n	I ₁	a								
6					a	I ₁		I _n	b ₂		
7											
8				↓	↓	↓					
9	B	I ₂									
10					I ₂	B		S ₀	a ₁		
11											
12				↓	↓						
13	C	B									
14	S ₁				C	I ₀				ADD	
15											
16				↓							
17		I ₁	A								
18		I ₂			A	I ₁		B ₂	C ₀	I ₁	BP
19				↓	↓						
20											
21	S ₁										
22		I ₁						S ₁	A ₁	S ₁	BP
23											
24				↓							
25											
26	Out	b	I ₂	Loop						Out	ADD
27											
28											
29				↓	↓	↓					

Tav.2 - Microprogramma per 4 filtri IIR del 2° ordine

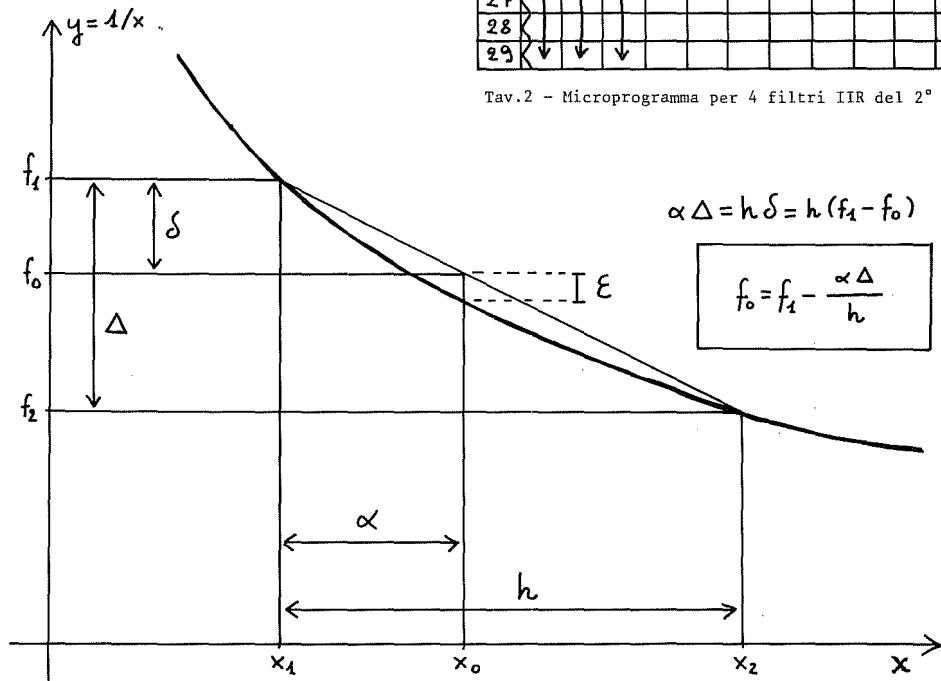


Fig.6 - Interpolazione lineare della funzione $1/x$

DMX-TSL: UN SISTEMA INTERATTIVO PER L'ELABORAZIONE DEL SEGNALE IN TEMPO REALE.

MARIO MALLANGI

Università di Milano
Istituto di Cibernetica
Via Viotti 5 - 20133 Milano

In questo lavoro viene presentato il sistema DMX-TSL, un sistema molto potente che in modalità interattiva consente di sintetizzare ed analizzare segnali in tempo reale. Questo sistema è il risultato della integrazione di diversi altri sistemi quali il Digital Signal Processor DMX-1000, il sistema TSL per analisi di segnali della GENRAD e il package di programmi di gestione del DMX-1000. Saranno quindi illustrati tutti questi componenti del sistema, l'architettura e la filosofia, nonché le prestazioni dell'intero sistema. Il DMX-TSL è stato sviluppato nell'ambito delle attività di ricerca del Laboratorio di Informatica Musicale dell'Istituto di Cibernetica utilizzando parte delle attrezzature del Centro di Calcolo.

1. INTRODUZIONE

Una delle caratteristiche più desiderabili di un sistema per l'elaborazione del segnale è la "programmabilità" in modalità interattiva.

Normalmente ci troviamo di fronte a sistemi solo "controllabili" in modalità interattiva ma non "programmabili". Questa differenza sta nel fatto che mentre nel primo caso programmiamo il sistema tramite un "linguaggio di programmazione" nel secondo forniamo solo dati ad un programma applicativo già sviluppato fuori linea. In pratica si tratta della differenza esistente fra "operatività" con linguaggi interattivi (es. BASIC) e "operatività" con linguaggi compilativi (es. FORTRAN).

La GENRAD ha molto felicemente risolto questo problema nel campo dell'analisi del segnale sviluppando il TSL (Time Series Language), un linguaggio tipo BASIC.

Questo consente di acquisire ed analizzare segnali in tempo reale su diversi canali di acquisizione a frequenze molto elevate.

Il TSL è supportabile da qualsiasi sistema Time/Data o da un qualsiasi PDP 11 opportunamente equipaggiato.

L'integrazione di questo sistema con il Digital Signal Processor DMX-1000 e il suo package di programmi di gestione ci ha consentito di di-

sperre di un sistema globale per la sintesi ed analisi dei segnali operante in modalità interattiva ed in tempo reale.

Ovviamente la difficoltà maggiore di questo approccio sta nella capacità di superare la naturale lentezza dei linguaggi interpretativi soprattutto in quelle parti del sistema che richiedono prestazioni in tempo reale: acquisizione, sintesi, analisi, controllo, ecc.

Per questo motivo particolare significato ha acquistato nello sviluppo di questo sistema l'architettura dell'intero sistema (multi-processor) e le relative tecniche di programmazione. Il sistema nella sua configurazione più estesa può essere considerato un completo "sistema di sviluppo" per hardware e software orientato ad applicazioni relative all'elaborazione del segnale. Un esempio di applicazione di questo sistema può anche essere visto nel lavoro presentato in questi colloqui da Borgonovo ed Haus.

2. ARCHITETTURA DEL SISTEMA

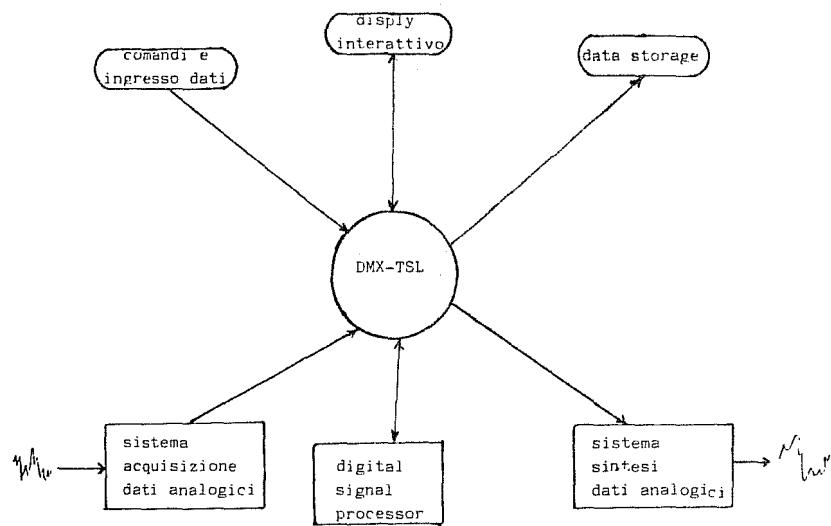
Il DMX-TSL è basato su tre supporti hardware di base:

- sistema acquisizione segnali

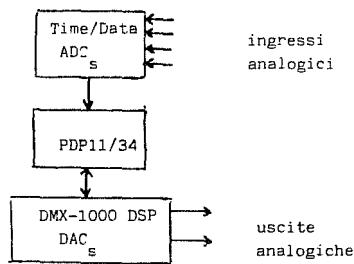
4 canali A/D Time/Data

- sistema minicomputer PDP
11/34

- digital signal processor
DMX-1000



"Fig 1 - Operatività del sistema DMX-TSL"



"Fig. 2 - Architettura del sistema DMX - TSL"

La sezione di acquisizione e' una parte molto importante in un sistema di elaborazione del segnale. Il sistema di acquisizione della Time/Date composto da 4 canali di acquisizione multiplexati e relativi amplificatori e filtri anti aliasing realizza l'operazione di acquisizione con notevole elasticita' in quanto completamente programmabile via software. Sia il range dinamico (12 bit) che la banda (25 KHz) sono piu' che soddisfacenti per le tipiche applicazioni in banda audio.

Il DMX-1000 rappresenta invece il co-processore del PDP 11 che si occupa essenzialmente di computazione tipicamente onerose come quelle presenti durante l'elaborazione del segnale.

La necessita' di utilizzare un co-processore nei piccoli sistemi di calcolo e' oggi una esigenza molto attuale (si veda per esempio l'attuale strategia per i sistemi della Intel).

I vantaggi si traducono in un considerevole aumento della potenza di calcolo del sistema base (minicomputer) che, se dotato di un buon sistema operativo, puo' tranquillamente affrontare i problemi relativi all'elaborazione del segnale.

Il PDP 11/34 (fig. 2) e' il nucleo dell'intero sistema. Intorno ad esso e' stata infatti costruita l'intera architettura di supporto del DMX-TSL. Particolare importanza hanno le altre due periferiche di input/output:

- terminale grafico Tektronix
- unita' a disco RK06

Il terminale grafico e' un supporto indispensabile per la rappresentazione del segnale in tutte le sue forme (dominio del tempo, della frequenza, rappresentazione multidimensionale, ecc.).

L'unita' a disco invece e' un supporto necessario per la memorizzazione di grosse quantita' di dati, sia in fase di acquisizione che di sintesi. In questa configurazione il sistema e' infatti capace sia di acquisire con continuita' su disco, sia segnali reali che sintetici o varie combinazioni di questi.

Il PDP 11/34 e' dotato di sistema operativo per applicazioni in tempo reale RT11.

Questo oltre che molto potente (particolarmente nella sua versione piu' recente) impegna poco delle risorse del sistema (solo 8 Kbyte di memoria).

3. IL LINGUAGGIO TSL

Il punto di partenza per la realizzazione del sistema DMX-TSL e' stato il linguaggio TSL della GENRAD.

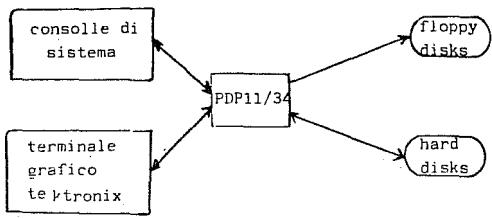
Il TSL e' simile nella struttura e nella operativita' al noto linguaggio BASIC, da cui in parte e' anche stato derivato. Esso va pero' molto oltre le capacita' del BASIC mettendo a disposizione singole operazioni di organizzazione ed manipolazione di blocchi dei dati, di trasformata di Fourier e di display grafico. In piu' una serie di sottoprogrammi di libreria consentono una facile programmazione dell'acquisizione del segnale. Un'altra serie di comandi consente poi di comunicare con qualsiasi altra unita' collegata all'Unibus nonche' di collegarsi con facilita' con sottoprogrammi in assembler.

Una delle caratteristiche che conferiscono potenza al TSL e' la capacita' di manipolare blocchi di dati (array nonodimensionali) alla stregua delle variabili scalari. Cio' favorisce particolarmente la struttura di algoritmi per la elaborazione del segnale che fa un largo uso di blocchi di dati. Le variabili a blocco sono dotate di set di dati di identificazione che possono essere correntemente integrate dall'utilizzatore e che denotano dimensione, formato, frequenza di campionamento, esponente, dominio ed indirizzo assoluto.

Persino le istruzioni di controllo del display sono orientate al blocco. Queste consentono di ottenere anche effetti speciali di visualizzazione con poche istruzioni.

4. ELABORAZIONE E SINTESI DEL SEGNALE

Il TSL consente molto facilmente di operare sulla propria struttura modificate a vari livelli. In particolare il set di istruzioni puo' essere facilmente ampliato in quanto qualsiasi altro sottoprogramma scritto in TSL puo' essere e-

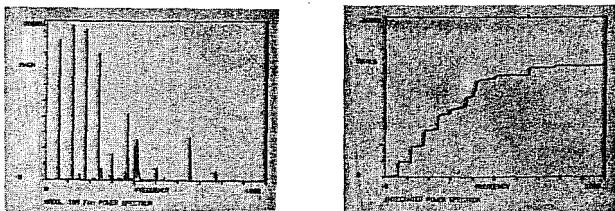


"Fig. 3 - Configurazione del PDP11/34"

```

CREATE RMS
10 APS
20 BIBSET B5,5,IO
30 DIF IO,IO,1
40 MLCONR 2.,B5
50 QUOT B5,0,B5,0,2
60 INTG B5
70 DISPLAY B5
80 GET B5,IO
90 STACK 16,250
100 BEAMP 200,95
110 PRINT 'OVERALL LEVEL = ',R0,'VOLTS RMS'
120 RETURN
END

```



"Fig 4 - listing e risultati di un programma scritto in TSL"

seguito solo richiamando il suo nome sia in modalita' interattiva che batch.

Per esempio facendo riferimento a fig. 4 il programma di fig. 5 dimostra come un sotto-programma precedentemente definito viene utilizzato come istruzione.

Accanto a queste possibilta' esistono ne esistono altre che riguardano la possibilta' di estensione del TSL in termini di programmazione in codice assembler e di accesso alle risorse collegate all'Unibus. Infatti proprio grazie a queste facilitazioni e' stato possibile realizzare il collegamento del DMX-1000 e l'integrazione sotto TSL di tutto il relativo software di gestione disponibile.

Il DMX-1000 e' un digital signal processor che funziona da slave di un master computer. Esso ha una interfaccia di comunicazione facilmente adattabile dall'Unibus.

La comunicazione con il DMX-1000 avviene a due livelli: microistruzioni (parole da 36 bit) e dati (parole da 16 bit). E' stato quindi necessario definire due primitive di ingresso/uscita per comunicare con il DMX-1000 da TSL. Queste primitive hanno consentito di programmare diverse istruzioni di ingresso/uscita per il DMX-1000 che sono entrate a far parte del set istruzioni del TSL. A questa possibilta' di comunicazione con il DMX-1000 sono stati aggiunti altri due livelli di operativita' che riguardano la programmazione del digital signal processor. Il DMX-1000 come e' noto e' un calcolatore micro-programmabile. Esso e' dotato di un set molto potente di istruzioni assembler che consentono di implementare qualsiasi tipo di algoritmo basato sul digital signal processing.

Per consentire una facile programmazione del processore di segnale si sta integrando nella struttura TSL anche un assembler ed un simulatore che consentono un rapido ed efficiente sviluppo di micropogrammi. Anche questi due programmi entreranno a far parte del set istruzioni TSL per consentire la programmazione del DMX-1000 in modalita' interattiva.

5. PRESTAZIONI DEL DMX-TSL

Il DMX-TSL cosi' come e' attualmente configurato consente per esempio di acquisire un segnale, processarlo con opportuni algoritmi (filtri, modulatori, reverberatori, ecc.) e ricovriertre in uscita il segnale elaborato, il tutto in tempo reale.

Cio' e' possibile da una parte grazie alla presenza di un digital signal processor che consente di simulare in tempo reale unita' hardware come analizzatore di spettro, oscillatore, filtri, reverberatore, ecc. D'altra parte un linguaggio interattivo come il DMX-TSL consente di avere la massima elasticita' in termini di comunicazione con il sistema.

6. BIBLIOGRAFIA

M. Malcangi, Il Laboratorio di Informatica Musicale dell' Istituto di Cibernetica dell' Universita' di Milano, Convegno Informatica: Musica/Industria - Festa dell' Unità, Tirrenia (1982)

Digital Music Inc., DMX-1000 programming manual, (Boston, USA, 1979)

Digital Music Inc., DMX-1000 hardware manual, (Boston, USA, 1979)

GenRad Inc., Time Series Language (TSL) Programming Manual, (Santa Clara, CA, USA, 1979)

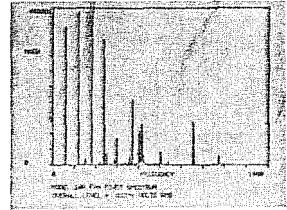
Il lavoro e' stato realizzato con il parziale contributo del ministero della Pubblica Istruzione.

Il lavoro e' stato possibile grazie alla disponibilita' delle apparecchiature del Centro di Calcolo dell' Universita' di Milano.

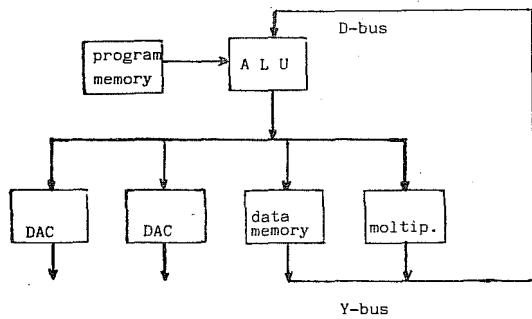
```

CREATE APSRMS
10   APS
20   RMS
30   RETURN

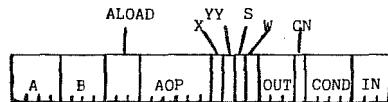
```



"Fig. 5 - Programma con estensione del set istruzioni"



"Fig. 6 - Architettura del DMX-1000"



"Fig. 7 - Formato istruzione del DMX-1000"

II Sessione
SISTEMI (II PARTE)

CONVERTITORI D/A A 16 BIT PER AUDIO PROFESSIONALE

M. RUBBAZZER

C.S.C. - Università di Padova

Sommario - *Si descrivono i principi realizzativi e le prestazioni di convertitori a 16 bit per audio professionale intesi come output a basso costo per sistemi digitali per la generazione di suoni.*

Questi convertitori, realizzati presso il Centro di Sonologia Computazionale dell'Università di Padova nel 1983, sono stati progettati per venire incontro all'esigenza di disporre di un output analogico per computer avente elevata qualità e versatilità a prezzo contenuto.

I convertitori presentano una dinamica maggiore di 90 dB, mentre il rumore e la distorsione armonica, ad ogni livello di segnale rimangono comunque al di sotto di -90 dB, e questo per ogni frequenza dalla continua alla frequenza di Nyquist. Eventuali componenti spurie dovute al ribaltamento dello spettro attorno alla frequenza di campionamento o a fenomeni di eterodina con la frequenza di campionamento stessa restano sempre almeno 70 dB sotto l'ampiezza del segnale. Il "noise floor" cioè il rumore bianco presente in uscita a causa degli stadi amplificatori e dei filtri, in assenza di segnale, è posizionato a -120 dB. Ogni convertitore ha incorporati tre filtri passabasso, singolarmente selezionabili, e aventi frequenza di taglio di 4,4 kHz, 7,25 kHz, 14,5 kHz; inoltre esiste la possibilità di applicare filtri esterni nella posizione filter bypass. Le frequenze di conversione previste sono 10 kHz, 6,5 kHz e 33 kHz rispettivamente. La risposta in frequenza è piatta entro circa 0,5 dB dalla continua.

L'uscita è di tipo sia differenziale, sia single ended, e presenta una resistenza interna rispettivamente di 100 e 50 Ω. La

massima tensione d'uscita è selezionabile tramite jumper e può arrivare, sull'output differenziale, fino al valore di 40 Vpp. L'ingresso del DAC è isolato otticamente ed è rappresentato da dati a 16 bit in complemento a 2.

Lo schema a blocchi del convertitore è riportato in fig. 1. I dati digitali in uscita dal computer entrano nel blocco denominato "Input data registers & Optocouplers" che provvede a stabilizzare i dati stessi e separare galvanicamente le masse dell'elaboratore e del DAC. Questo accorgimento risulta di importanza fondamentale in quanto impedisce la propagazione di disturbi di tipo impulsivo provenienti dall'uscita digitale del computer, originati per esempio da un'alimentazione di tipo switching. D'altro canto il disaccoppiamento ottico interrompe il "ground loop" che si verrebbe a creare (come si deduce dalla fig. 2) interessando il percorso del segnale analogico. In questo modo è possibile evitare l'uso di un trasformatore di disaccoppiamento, che normalmente viene posto all'uscita del DAC, con intuibili benefici sulla regolarità della risposta. Inoltre è possibile estendere la banda passante fino alla continua, il che aumenta la versatilità d'uso di questo convertitore.

E' previsto anche un ingresso (bit MPX) attivo a permettere il demultiplexing dei dati, qualora si voglia effettuare il pilotaggio di più convertitori contemporaneamente utilizzando un unico data bus a 16

bit.

Sempre nel blocco circuitale cui prima s'è accennato trovano posto i circuiti di una barra di 16 led che possono visualizzare, tramite selezione con apposito switch, il dato digitale in ingresso, in complemento a 2, oppure il suo modulo. In quest'ultimo caso l'indicazione risultante è quella di un Vu meter a LED con la scala tarata in step di 6 dB.

Il blocco successivo ("DAC 16 bit and S&H") opera la conversione vera e propria. Per evitare che i glitches che si generano a seguito di transizioni fra un valore e il successivo possano produrre battimenti con la frequenza di campionamento, originando componenti di intensità tutt'altro che scurabile in banda audio, viene usato un Sample and Hold un po' particolare.

Tale circuito si differenzia dai convenzionali S&H in quanto la sua uscita, nella posizione "Sample", insegue l'ingresso con una velocità limitata a causa dell'inserzione di un polo a 45 kHz. Questo accorgimento linearizza la risposta del S&H in quanto impone un raccordo di tipo esponenziale tra valori diversi assunti dall'uscita. Questo filtraggio a 45 kHz viene comunque compensato a valle, per ricostruire la uniformità della risposta in frequenza.

Nello schema a blocchi si incontrano poi i filtri passabasso. Si tratta di filtri attivi realizzati con elementi FDNR, che presentano una caratteristica di Cauer del 9° ordine, con attenuazione in banda oscura maggiore di 70 dB, ondulazione in banda passante di 0,3 dB, rapporto frequenza di taglio/frequenza di stopband pari a 1,15. I filtri passabasso sono seguiti da una cella passaalto atta a compensare il decadimento di tipo $\sin x/x$ della risposta in frequenza, dovuto all'uscita non impulsiva del modulo DAC.

I filtri sono selezionati a mezzo di relé

reed in base al valore assunto da 2 bit opportunamente decodificati per mezzo del circuito "Filter decoder". L'uso di relé è sembrato vantaggioso rispetto all'impiego di switch analogici, che avrebbero potuto introdurre una seppur piccola distorsione, dato che non vi sono problemi di velocità di commutazione.

Il segnale filtrato giunge infine al buffer amplifier che provvede a generare una uscita di tipo differenziale per una più alta reiezione ai disturbi di modo comune. Il range previsto della tensione di uscita va da 10 Vpp (single ended mode) a 40 Vpp (differential mode) ed è selezionabile tramite opportuno ponticello. L'uscita è a bassa impedenza ed è in grado di pilotare grossi carichi capacitivi (come quelli rapresentati da lunghi tratti di cavo coassiale) senza dar luogo a instabilità.

Da ultimo, nello schema di figura 1, si nota la presenza del blocco "Timing generator", che provvede alla corretta temporizzazione dei registri di ingresso e del circuito Sample and Hold. Anche in questo caso il clock di conversione, proveniente dall'esterno, è disaccoppiato otticamente dal resto del circuito. Si fa uso di un fotocouplatore veloce, al fine di minimizzare il jitter (contenuto entro pochi nanosecondi) che potrebbe introdurre distorsioni durante il processo di conversione. In figura 3 sono riportati alcuni spettrogrammi che illustrano le prestazioni di un prototipo del convertitore in oggetto.

GROUND LOOPS

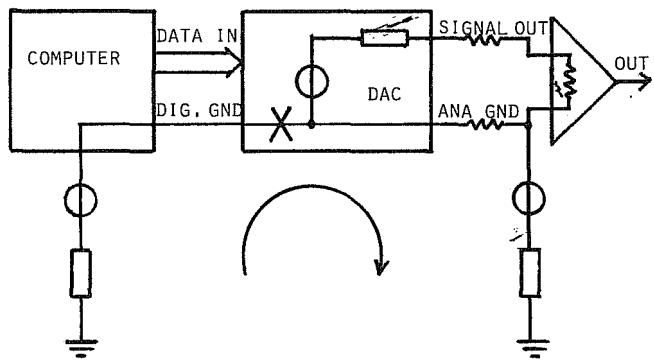
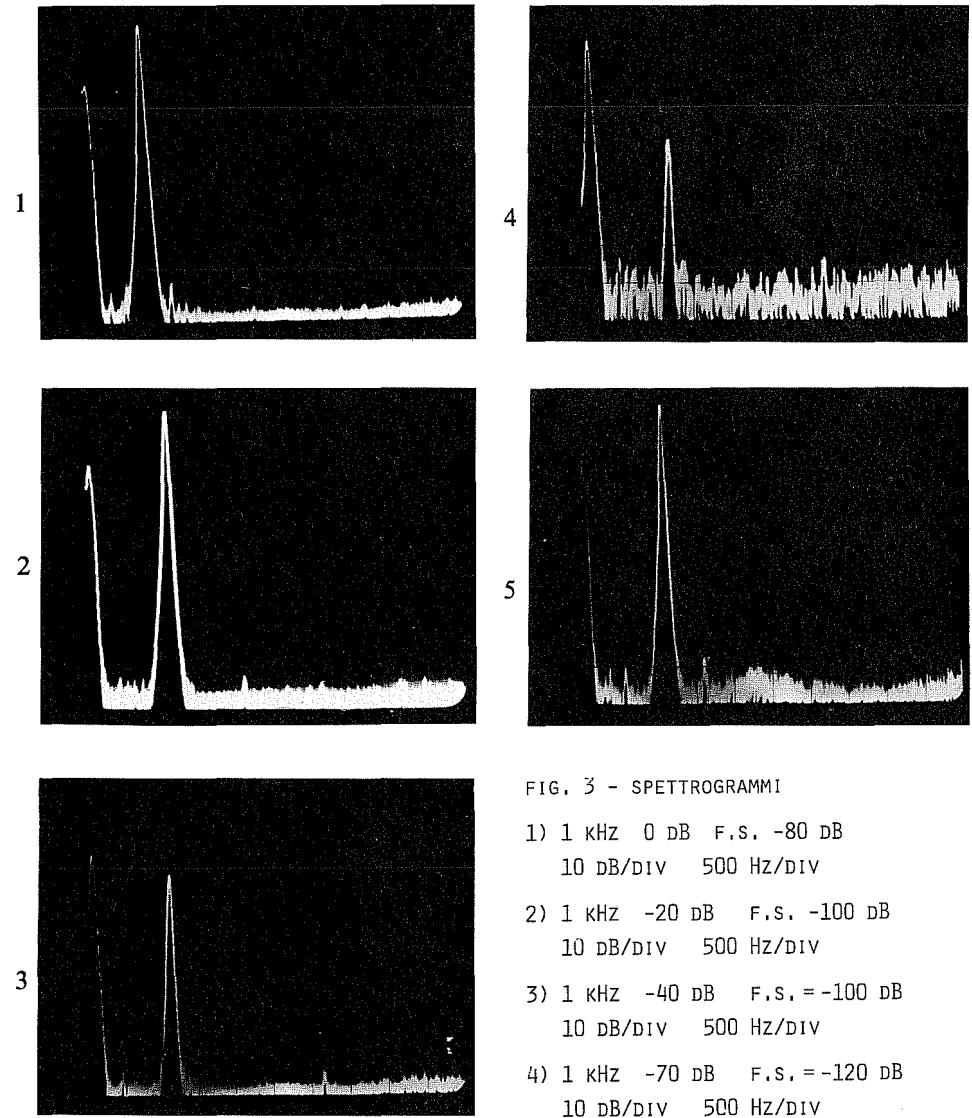


FIG. 2



CONVERTITORE D/A 16 BIT - SCHEMA A BLOCCHI

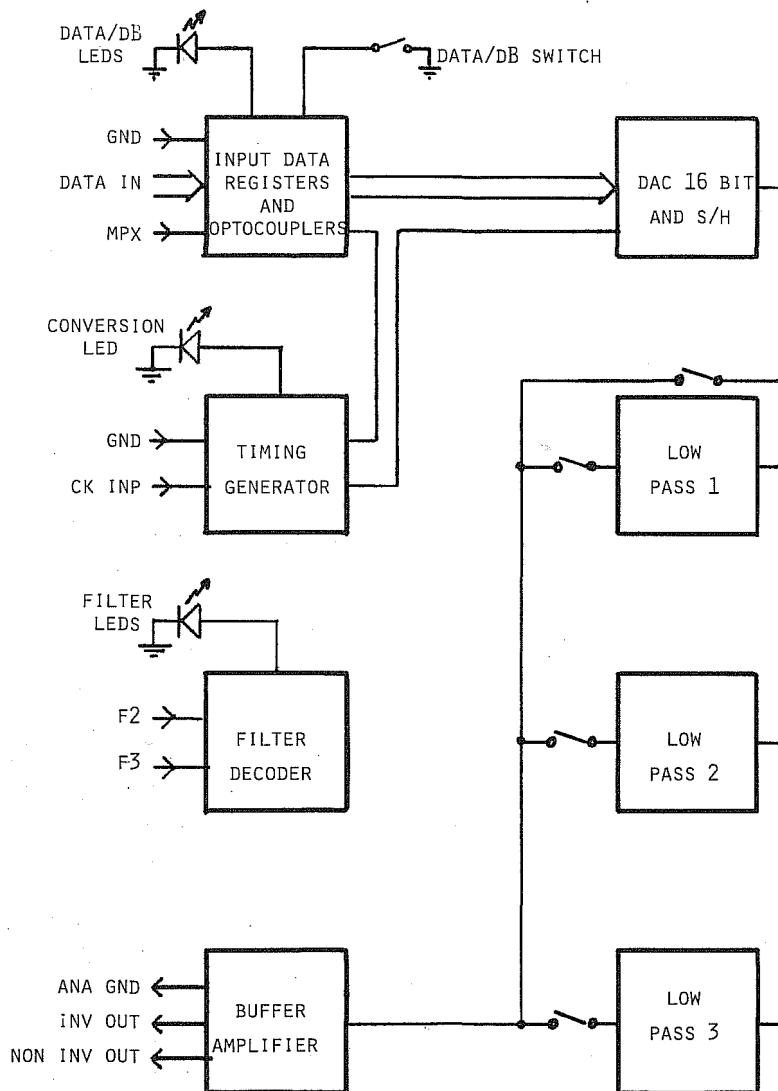


FIG. 1

UN SISTEMA PER LA COMPUTER MUSIC CON GENERAZIONE HARDWARE DI SUONI E DI TIMBRI

Giorgio TEDDE
Università' di Cagliari

SOMMARIO- Il lavoro descrive un sistema hardware-software dedicato alla sintesi acustica digitale, che sviluppa alcune recenti tecniche di produzione del suono basate sull'utilizzazione di onde quadre.

Il software necessario al controllo del sistema e' stato concepito secondo i principi di modularita', esponibilita' e facile accesso all'utente. I diversi livelli di controllo riguardano la definizione dei parametri del suono (altezza, intensita', tempo), e la sua elaborazione timbrica.

I vantaggi del sistema consistono nel suo relativo basso costo, nella possibilita' di implementazione con ogni microcomputer a 8 bit, e nella sua facilita' d'uso per inesperti di elettronica e programmazione.

1. INTRODUZIONE

In questa memoria si descrive il sistema per la produzione di Computer Music in fase di realizzazione presso il Laboratorio di Elettronica del Dipartimento di Scienze Fisiche dell'Università' di Cagliari.

L'attenzione non e' rivolta alle possibilita' tecniche di controllare la qualita' del suono, ma, una volta stabilito un livello accettabile di intervento sui parametri acustici, si vuole concentrare lo sforzo sullo studio delle possibilita' del computer nell'aiuto alla composizione musicale.

Ci si e' quindi orientati verso un prodotto che avesse un'apertura piu' larga possibile sia per l'utente musicista inesperto di elettronica e programmazione, sia verso la sua diffusione presso Conservatori, Scuole Medie e privati.

In fase di progettazione e organizzazione sono stati stabiliti come punti di riferimento il basso costo (1), la facile riproducibilita' e possibilita' di implementazione con ogni microcomputer a 8 bit, e il facile accesso per qualsiasi utente interessato.

2. DESCRIZIONE DEL SISTEMA PROTOTIPO

2.1. Generalita'

Il primo risultato e' stata la realizzazione di un sintetizzatore digitale di suoni come periferica di I/O di un microcomputer.

La produzione dei suoni e' stata affidata a due Generatori Programmabili di Suoni (P.S.G.), circuiti integrati VLSI facilmente reperibili sul mercato.

L'unita' centrale e' dotata di una CPU Z80 a 4 Mhz opportunamente espansa nelle linee di I/O; la memoria centrale ha una capacita' di 64 Kbytes ed e' disponibile una memoria di massa a cassette (fig. 1A).

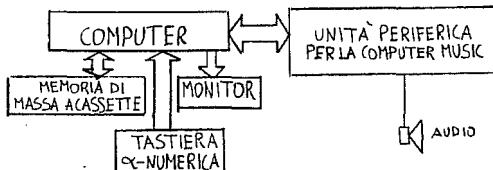


Fig. 1A: Configurazione del Sistema Prototipo

La comunicazione fra l'unita' centrale e i suddetti circuiti integrati avviene tramite un'unita' di software che ne consente la completa utilizzazione sia in tempo reale che in differita, previo immagazzinamento dei dati musicali espressi in un linguaggio concepito "ad hoc" (fig. 1B).

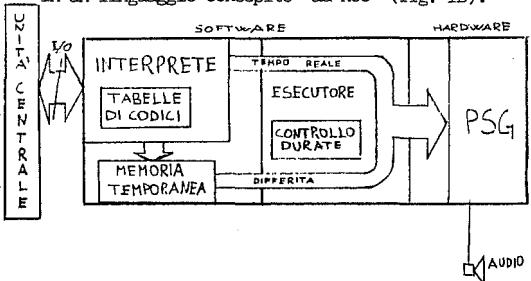


Fig. 1B: Unità periferica per la Computer Music

Si e' voluta demandare la produzione del suono a questi circuiti integrati, per limitare le funzioni dell'unita' centrale ad un livello operativo superiore, come il controllo e l'elaborazione sonora, con la piena disponibilita' dei tempi dei cicli macchina (2). Questo fatto comporta inoltre una notevole riduzione della complessita' del sistema e conseguentemente dei costi, senza che le prestazioni si limitino eccessivamente (fig. 2); in ogni caso rimane aperta la possibilita' di intervento con ulteriori elaborazioni che ne migliorino la qualita' sonora.



Fig. 2: Ripartizione delle funzioni musicali nel Sistema

2.2. Descrizione dei PSG

I circuiti integrati, prodotti dalla General Instruments con la sigla AY-3/8910, noti con il nome di Programmable Sound Generator's, sono in grado di generare tre canali audio indipendenti controllabili in frequenza e intensità mediante l'immissione di opportuni dati in 16 registri.

In ogni canale sono disponibili 4095 frequenze audio diverse, sottomultiples di una opportuna frequenza di clock, che consentono la formazione di scale di altezze quasi-continue fra loro (glissandi) o di altezze discrete (scale musicali di vario tipo).

L'estensione della scala musicale va mediata con la precisione dei diversi gradi: è infatti possibile formare una scala temperata di 5 ottave con un'errore massimo di 1/25 di semitono (4 cents), pressoché inapprezzabile dato che si pone la soglia della percezione intervallare di un orecchio umano ben educato ad 1/20 di semitono (3). La frequenza del clock viene usata con i valori di 3,7, 1,85 e 0,92 Mhz, fatto che consente un'estensione della scala musicale di due ottave.

L'intensità è suddivisa in 16 livelli secondo una scala logaritmica, e può essere controllata direttamente per mezzo di un byte con un valore da 0 a 15, oppure indirettamente stabilendo un ciclo di inviluppo fra 65535 possibili frequenze ed una fra 8 forme disponibili. Il controllo indiretto dell'intensità può essere anche usato per determinare vari transitori d'attacco del suono.

In ciascuno dei tre canali è possibile inserire del rumore rosa con una fra 31 frequenze di picco disponibili.

I dati relativi alla forma e alla frequenza dell'inviluppo di ampiezza, insieme a quelli della frequenza del rumore rosa, sono in comune per tutti i canali di uno stesso PSG, mentre quelli relativi alle frequenze tonali ed al controllo diretto dell'ampiezza sono differenti in ogni canale.

Il controllo delle durate avviene al di fuori dei PSG stabilendo una sequenza intervallata con la quale vengono inviati i dati nei diversi registri.

2.3. Struttura del software

La costruzione del software è stata basata sui principi di modularità ed espandibilità per consentirne la riutilizzazione negli sviluppi successivi. La sua struttura può essere descritta facilmente se si definiscono i diversi livelli di rappresentazione dell'informazione musicale secondo De Poli e Haus (4), (fig. 3):

- livello sonoro (segnaletica di voltaggio o sequenza di campioni);
- livello esecutivo (comandi in forma di codici forniti al dispositivo di generazione del suono);
- livello operativo (insieme di parametri acustici);
- livello simbolico (partitura musicale tradizionale);
- livello strutturale (modello formale di composizione musicale).

La rappresentazione dell'informazione musicale a livello sonoro avviene nei canali audio in uscita da ogni PSG, dopo che un programma ESECUTORE gli ha inviato un insieme di dati sotto forma di una sequenza di codici (rappresentazione a livello esecutivo). Questa sequenza di codici viene prodotta da un apposito programma INTERPRETE il quale la deduce dai dati che descrivono il suono come un insieme di parametri acustici (rappresentazione a livello operativo), immessi direttamente alla consolle dall'utente del sistema, che si avvale di un opportuno linguaggio che consente l'espressione sia di una generica partitura musicale (rappresentazione a livello simbolico) che di alcuni effetti speciali.

LIVELLO STRUTTURALE → LIVELLO SIMBOLICO → LIVELLO OPERATIVO → LIVELLO ESECUTIVO → LIVELLO SONORO

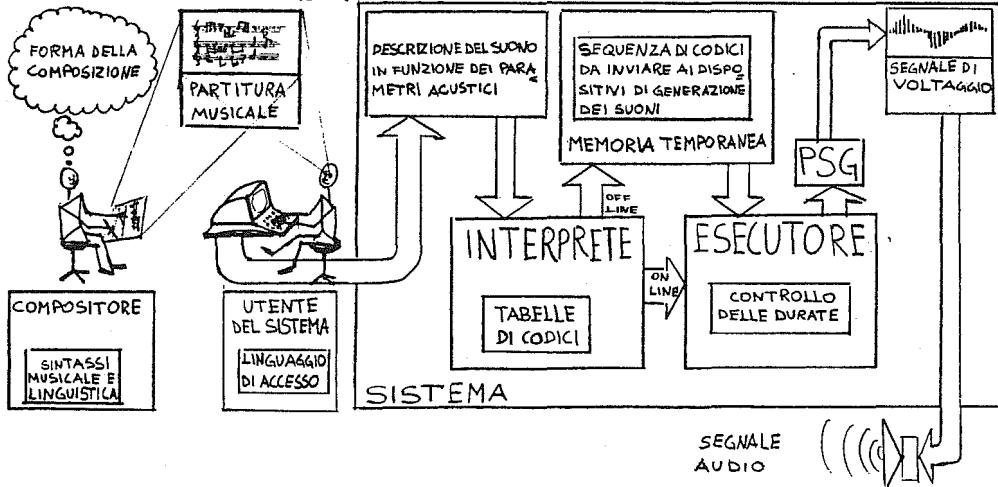


Fig. 3: Livelli di rappresentazione dell'informazione musicale nel Sistema Prototipo

UN SISTEMA PER LA COMPUTER MUSIC ...

Le unita' principali nelle quali si configura il software sono dunque (A) le TABELLE DEI CODICI relative all'intensita' e alle diverse frequenze che si vogliono utilizzare, (B) il programma INTERPRETE che le utilizza e immagazzina l'informazione in una memoria temporanea, e (C) il programma ESECUTORE che invia i codici ai PSG intervallandoli con i tempi delle durate musicali (fig. 1B).

E' anche possibile controllare i PSG in tempo reale per mezzo di una serie di comandi impartiti alla consolle, che determinano l'invio immediato dei codici, calcolati da un programma interprete ridotto, ai PSG.

Il software qui descritto e' stato implementato in assembler 8080 ed occupa circa 2 Kbytes.

Con questo sistema sono state registrate ed eseguite facili partiture classiche ed e' stata prodotta tutta una serie di effetti acustici e musicali utilizzando anche tecniche di composizione-esecuzione in tempo reale basate su strutture stocastiche.

3. DESCRIZIONE DEL SISTEMA DEFINITIVO

Una volta raggiunto un primo risultato concreto si e' valutato l'operato per orientarsi meglio negli sviluppi successivi.

Il lavoro e' stato proseguito su di un personal computer basato sulla CPU Z80 a 4 MHz. La memoria centrale e' di 64 Kbytes e la memoria di massa e' di 2 Mbytes su floppy disk da 8".

Con l'utilizzazione di questo sistema si e' perciò cercato di migliorare il Sistema Prototipo nelle carenze che presentava:

- il numero dei canali audio era sufficiente a rappresentare solo partiture a non piu' di sei voci, e la gamma di produzione di effetti speciali ottenibili era limitata;
- un solo clock limitava la banda di frequenze ottenibili;
- la timbrica era molto limitata;
- l'utilizzazione del sistema in tempo reale risultava laboriosa;
- mancava la possibilita' di controllo dell'informazione musicale a livello strutturale, indispensabile per l'aiuto alla composizione musicale.

3.1. Sintesi delle frequenze

I primi due punti sono stati risolti realizzando una scheda Sintetizzatore Programmabile di Suoni che contiene 8 PSG e un clock, ed ha la possibilita' di ricevere altre 2 frequenze di clock. L'input di questa scheda e' composto da 3 porte parallele rispettivamente per il dato, il registro al quale lo si vuole inviare ed il PSG che si vuole utilizzare. Sono presenti inoltre le due entrate per i clocks aggiuntivi ed un'entrate per il reset di tutti i PSG. In uscita vi sono 24 canali audio che possono essere raccolti come si vuole in quattro linee per amplificazione quadriphonica (fig. 4).

Durante la costruzione di questa scheda e' stata messa in atto tutta una serie di accorgimenti, quali la possibilita' di complementare i latches delle diverse porte o di collegare liberamente i PSG alle diverse linee di clock, che la rendono facilmente adattabile a qualsiasi sistema e le conferiscono una certa flessibilita' di impiego.

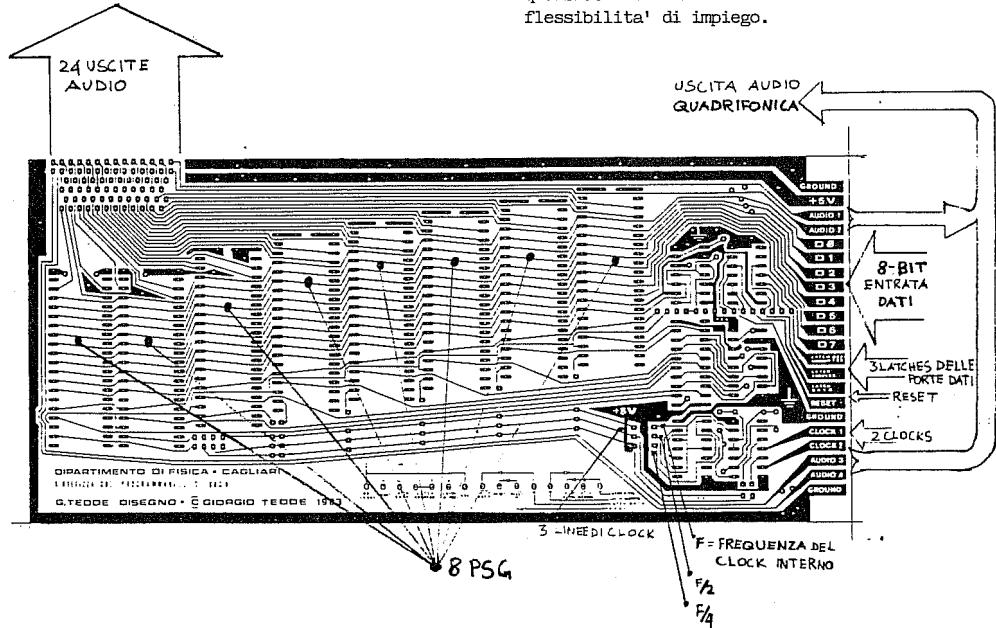


Fig. 4: Caratteristiche della scheda Sintetizzatore Programmabile di Suoni

3.2. Generazione dei timbri

Per poter attuare l'elaborazione timbrica sulle diverse voci in uscita dalla scheda sopra descritta, rimanendo in accordo con le direttive di basso costo imposte inizialmente, si e' deciso di utilizzare la sintesi sonora per mezzo della trasformata di Walsh, che si addice particolarmente ai sistemi digitali (5), (6).

La sintesi di Walsh e' infatti basata su di un set di onde rettangolari (fig. 5), e la piu' generale forma d'onda e' ottenibile come somma di una serie di funzioni del set di base moltiplicate per opportuni coefficienti (7). Esiste inoltre uno studio esaurente sui metodi di conversione dei coefficienti di Fourier in quelli di Walsh (8), che consente di utilizzare la vasta letteratura di analisi spettrale dei timbri espressa con i coefficienti di Fourier (5), (9).

Studiando le funzioni di Walsh come sono rappresentate in figura 5, si e' constatato che e' possibile ottenere una qualsiasi funzione del set come prodotto di un certo numero di onde quadre con frequenza multipla di 2^n ($n=0,1,2,\dots$) dell'onda quadra fondamentale. Per esempio, per produrre la funzione numero 29 (in binario: 11101), sara' necessario moltiplicare le funzioni a cui corrispondono le onde quadre di frequenza multipla della fondamentale dei fattori 16, 8, 4, 2, 1, rispettivamente per i coefficienti 1, 1, 1, 0, 1.

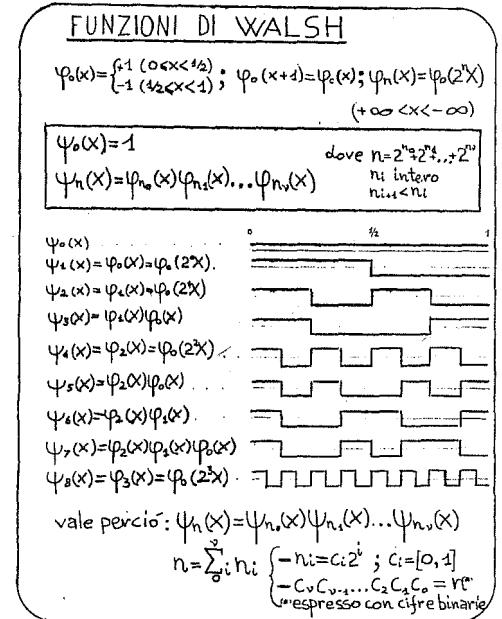


Fig. 5: Rappresentazione delle funzioni di Walsh

Per questo motivo, si e' deciso di produrre le funzioni del set, a partire dalla frequenza fondamentale in forma di onda quadra, per mezzo di duplicatori veloci di frequenza di onde quadre e di semplici moltiplicatori; per realizzare le operazioni sopra descritte con mezzi digitali si

e' modificato il codominio delle funzioni da $(-1;+1)$ a $(0;1)$. Il dispositivo di moltiplicazione si puo' realizzare con tre porte NAND o NOR e due invertitori (fig. 6), e si e' visto che per produrre le prime 2^n funzioni di Walsh necessitano n duplicatori e $(2^n - n - 1)$ moltiplicatori (figg. 7, 8).

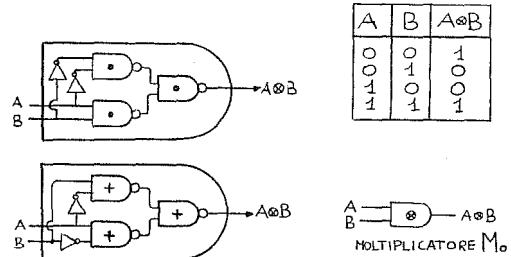


Fig. 6: Diverse realizzazioni del Multiplicatore

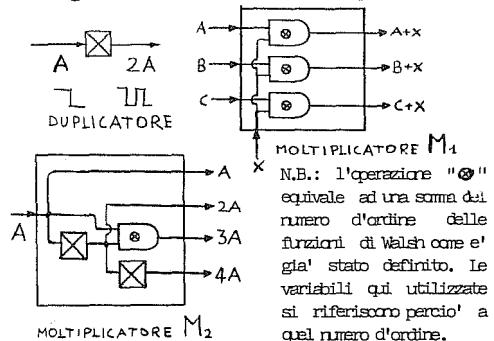


Fig. 7: Definizione di operatori d'uso frequente nel circuito di generazione delle funzioni di Walsh

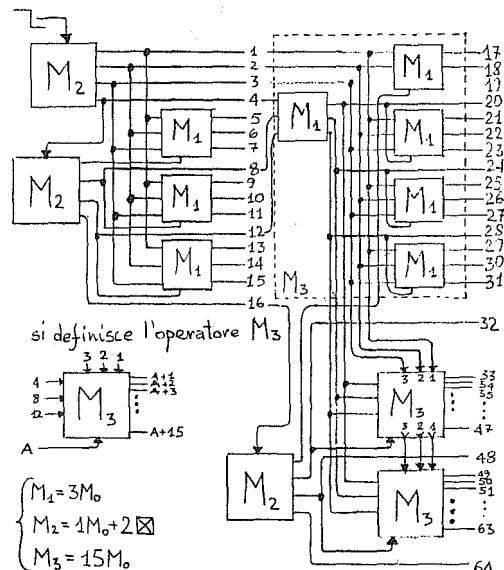


Fig. 8: Schema del circuito generatore delle prime 64 funzioni di Walsh a partire da un'onda quadra

UN SISTEMA PER LA COMPUTER MUSIC ...

La generazione del timbro di ciascuna delle diverse voci prodotte dalla scheda sintetizzatore, avviene in un'apposita scheda, ancora in fase di elaborazione, composta da (A) un generatore delle prime 32 funzioni di Walsh in parallelo a (B) una serie di dispositivi VCA controllati da un byte, che immesso in (C), che e' un decodificatore seguito da una rete resistiva, produce l'uscita in tensione desiderata. La somma di tutte le uscite dei VCA viene poi moltiplicata per l'intensita' dell'onda quadra in entrata per mezzo di un ultimo VCA pilotato con la tensione di questa (fig. 9).

In questa maniera e' quindi possibile generare un discreto ambito di timbri con dei costi notevolmente ridotti rispetto ai metodi tradizionali di sintesi di Fourier, ed e' anche possibile utilizzare gli stessi mezzi per l'analisi dello spettro sonoro.

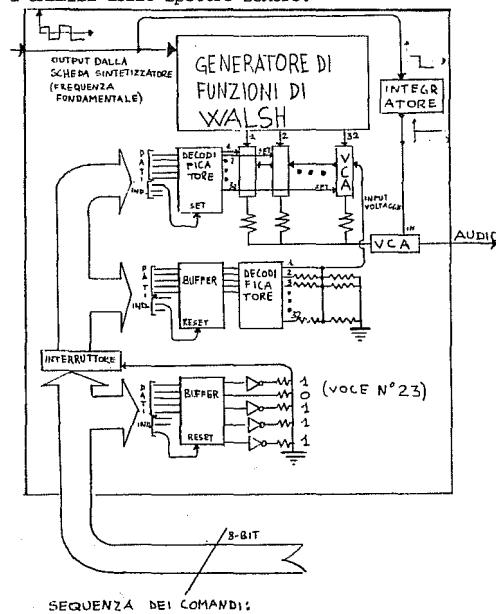


Fig. 9: Caratteristiche della scheda di Generazione dei Timbri per una sola voce

La trasmissione dei dati alle schede di sintetizzazione dei suoni e di generazione dei timbri e' effettuata da una CPU Z80 per mezzo di un programma ESECUTORE che legge la successione di codici da una memoria. Questi codici, come nel Sistema Prototipo, sono stati ottenuti dall'unita' centrale mediante un programma INTERPRETE e l'input alla consolle (fig. 10A).

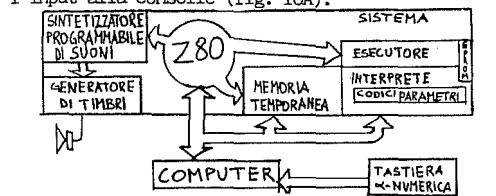


Fig. 10A: Configurazione del Sistema per esecuzioni in differita (off-line)

3.3. Configurazioni possibili del Sistema

Per utilizzare il sistema come e' descritto sino ad ora, per le esecuzioni in differita, si e' dovuto modificare il software ampliando le funzioni dell'INTERPRETE e dell'ESECUTORE e ricostruendo il programma di gestione del video nell'immissione dei dati.

Per l'accesso al sistema in tempo reale, si e' progettata una configurazione dove un'unita' periferica "intelligente" dialoga insieme al SISTEMA con l'unita' centrale in hand-shake, in modo che ognuna delle tre componenti abbia la possibilita' di operare contemporaneamente alle altre (fig. 10B). Questa unita' e' composta di:

- una tastiera musicale polifonica controllata da uno Z80 che ne scandisce continuamente tutte le uscite dei tasti e aggiorna una memoria con le posizioni di quelli attivi;
- la tastiera alfa-numerica, che per mezzo di appositi programmi permette di stabilire le funzioni dei singoli tasti e di gestire le rimanenti (di uso meno frequente);
- il monitor che descrive lo stato generale della configurazione;

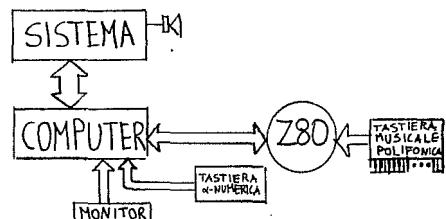


Fig. 10B: Configurazione del Sistema per la composizione-esecuzione in tempo reale (on-line)

Si prevede inoltre la messa a punto di una serie di programmi in un linguaggio ad alto livello (basic, pascal, prolog, ...), ora in fase di studio, che consentano la produzione di composizioni mediante l'utilizzazione di regole stilistiche appartenenti ad un linguaggio estetico preesistente circoscritto (10) (musica regionale popolare, musica contrappuntistica e barocca (11), etc...), o di procedimenti stocastici liberi (12) e markoviani (13), (fig. 11).

4. CONCLUSIONI

Nonostante la sua struttura periferica intelligente e l'uso piuttosto intensivo delle funzioni hardware ovunque il rapporto costo/prestazioni (sotto predefiniti limiti) lo permetta, la fase preliminare di collaudo ha messo in evidenza problemi di velocita' apparentemente non facilmente risolubili con tecniche basate su microprocessori. Dal punto di vista del linguaggio ad alto livello anche il BASIC, sia interpretato che compilato, ha mostrato problemi di velocita' e non comodita' di interfacciamento con i sottoprogrammi in assembler.

L'obiettivo del progetto viene comunque perseguito con l'introduzione di alcune novità, quali l'utilizzazione di circuiti integrati VLSI per la sintesi sonora, e la definizione di un progetto di generatore di timbri che si presta anch'esso ad una possibile realizzazione VLSI.

Si crede inoltre che una volta completato nelle sue grandi linee, il lavoro realizzi l'aspettativa di dare un contributo concreto alla diffusione della Computer Music sia per quanto riguarda i sistemi di produzione-esecuzione che per l'utilizzazione del computer come aiutante del compositore di musica.

Il presente lavoro fa parte di una tesi di Elettronica in via di svolgimento presso il Dipartimento di Scienze Fisiche dell'Università di Cagliari sotto la guida del prof. Guido Pegna che si conta di concludere entro l'anno accademico 1982/83.

Tutto l'insieme vuole essere parte di un più ampio progetto di realizzazione di uno studio di Musica Elettronica (analogica e digitale) presso il Conservatorio di Cagliari, dove a partire da quest'anno scolastico sarà disponibile una attrezzatura elettronico-analogica come supporto del corso di Nuova Didattica della Composizione tenuto dal M° Franco Oppo.

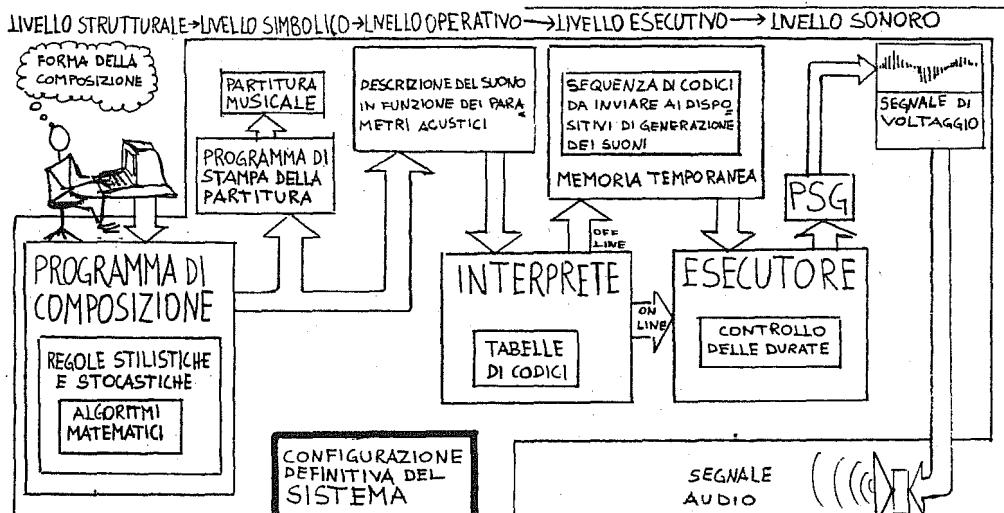


Fig. 11: Livelli di rappresentazione dell'informazione musicale nel Sistema Definitivo

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- (1)...-De Santis, A.: "Un microprocessore orientato verso la sintesi di frequenze", VI° International Computer Music Conference, Venezia 1982.
- (2)...-Ryan, J.: "Constraints on a Real Microcomputer Based Music Performance System", VI° International Computer Music Conference, Venezia 1982.
- (3)...-Righini, P.: "L'acustica per il musicista", Zanibon, Padova 1970, (pp. 47, 48).
- (4)...-De Poli, G. & Haus, G.: "Ingegneria del software ed informatica musicale", Congresso Annuale AICA, Padova 1982.
- (5)...-Haus, G.: "A Portable 'Walsh' Synthesizer", VI° International Computer Music Conference, Venezia 1982.
- (6)...-Risset, J. C. & Wessel, D.: "Indagine sul timbro mediante analisi e sintesi", Boll. LIMB, N° 2, La Biennale di Venezia, Venezia 1982.
- (7)...-Fine, N. J.: "Walsh Functions", Encyclopaedic Dictionary of Physics, suppl. vol. 4, Pergamon Press, Oxford 1971, (pp. 517, 520).
- (8)...-Higuchi, T. & Tadokoro, Y.: "Discrete Fourier Transform Computation via the Walsh Transform", IEEE Trans. on Acoustic and Signal Processing, 26, N° 3, 236-240, (1978).
- (9)...-Freeman, M. D.: "Analysis of Musical Instruments Tones", Journal of the Acoustical Society of America, 41, 793-806, (1967).
- (10)...-Oppo, F.: "Per una teoria generale del linguaggio musicale", International Conference on Musical Grammars and Computer Analysis, Modena 1982.
- (11)...-Baffioni, C., Guerra, F. & Tedeschini Lalli, L.: "Music and Aleatory Processes", International Conference on Musical Grammars and Computer Analysis, Modena 1982.
- (12)...-Gardiner, M.: "White and Brown Music, Fractal Curves and one-over-f Fluctuations", Scientific American, 238, N° 4, 16-32, (1978).
- (13)...-Xenakis, I.: "Formalized Music", Indiana University Press, Bloomington, Indiana, 1971.

LO STUDIO PER L'INFORMATICA MUSICALE DI ROMA/IL SISTEMA PER LA SINTESI IN TEMPO REALE.

Michelangelo Lupone

Studio per l'Informatica Musicale - ROMA

Lo Studio ha presentato, nei precedenti Convegni di Informatica Musicale, la tipologia delle scelte operative e lo stato della propria ricerca scientifica e musicale; questo intervento intende allora rivolgere alcune considerazioni del lavoro fin qui svolto e tentare, terminata la fase realizzativa del sistema Soft Machine, una proiezione sulle attività future.

Questi primi tre anni di attività hanno contribuito decisamente al chiarimento degli obiettivi dello Studio ed alla scelta di alcune metodologie operative, individuate come coerenti alle esperienze artistiche e culturali di ogni componente.

In particolare, la possibilità di apportare e scambiare nel gruppo le competenze dei singoli, ha reso estremamente agili momenti progettuali e realizzativi, e ha rappresentato la più proficua collaborazione negli scambi culturali avvenuti con le realtà scientifiche e musicali del settore.

La dinamica con cui si sono organizzate le esperienze di lavoro dello Studio, ha agevolato ed incentivato le scelte operative di ognuno di noi, permettendo, sulla base di un continuo confronto, di definire di volta in volta la peculiarità dei singoli interventi e di precisare ed evolvere le metodologie adottate.

La omogeneità e la flessibilità, derivate da questo tipo di rapporto, hanno permesso di definirci organizzativamente come mostra il diagramma a blocchi di Fig. I.

Il diagramma a blocchi rappresenta, al suo interno, due fasi ben distinte ma interagenti: i) fase di ricerca, ii) fase di applicazione.

E' molto importante sottolineare come le problematiche che lo Studio affronta nei termini della "applicazione", derivano sostanzialmente dall'esperienza culturale di ognuno di noi, ed è ad essa che ci si è riferiti durante tutte le fasi progettuali e quindi realizzative della Soft Machine.

La Soft Machine prima di essere una scelta tecnologica, rappresenta lo sforzo del gruppo di far confluire in un unico progetto due caratteristiche indispensabili per una evoluta operatività artistico-scientifica: 1) l'agibilità del mezzo, cioè la possibilità che questo possa essere utilizzato in modo continuativo ed indipendente; 2) la configurazione Hardware adeguata, pur nei limiti imposti dalla riduzione del sistema,

alla implementazione ed allo sviluppo delle tecniche di sintesi, ed alla loro gestione in sistemi Software tipicamente compositivi.

L'esigenza di poter operare anche privatamente con mezzi potenti e flessibili, è sentita non soltanto dai musicisti ma da molti operatori del nostro settore.

Il senso di questo non mi sembra precludere ad una scelta alternativa rispetto al grande centro di ricerca e produzione, quanto alla eventualità di un lavoro in parallelo che meglio soddisfi le prassi sperimentali, importanti nella Computer Music per una sedimenticazione linguistica, ma più in genere per qualsiasi ricerca.

L'avvento di mezzi come questo da noi realizzato si pone in modo dialettico con le esperienze dei grandi centri, e per questo può divenire un contributo indispensabile alla diffusione ed approfondimento del pensiero scientifico-musicale contemporaneo.

Siamo giunti così alle attuali scelte tecnologiche, maturando la considerazione che la relazione del mezzo digitale con la prassi compositiva e la ricerca scientifica ad essa annessa, è ottimizzata solo se il mezzo è in grado di sopportare l'alto grado di flessibilità richiesta e garantire la potenza dei sistemi specializzati.

L'ipotesi, difficile da sostenere con le tecnologie usate fino ad oggi, ha trovato dimostrazione nell'utilizzazione dei DSP (Digital Signal Processor) che, integrando le funzioni principali utilizzate per la generazione ed elaborazione dei segnali, hanno ottimizzato proprio quei tempi di calcolo che vietavano il tempo reale o richiedevano, per questo, un Hardware dedicato.

L'avvento di questo nuovo tipo di tecnologia, effettivamente ha reso possibile, con una aderenza Hardware-Software ottimale, uno status molto efficiente per la ricerca compositiva e scientifica, con una riduzione dei costi ed una semplificazione del sistema, certamente utile ai fini dell'affidabi-

lità e del controllo.

Guardando la struttura della Soft Machine è possibile ora individuare le caratteristiche di flessibilità e potenza ricercata dal nostro progetto.

Il sistema è caratterizzato da una duplice configurazione: la prima "Soft Machine" (Fig. 2) permette l'utilizzazione in tempo reale e differito; la seconda (Fig. 3) "Soft Machine Real Time" l'utilizzazione in tempo reale.

Il sistema Soft Machine Real Time è una riduzione del primo sistema ma mantiene inalterate le caratteristiche essenziali. È stata realizzata soprattutto per un uso in concerto dove è fondamentale l'agilità del mezzo.

Ritornando al sistema più grande lo troviamo costituito da 7 unità distinte:

- 1) HIU (Human Interface Unit)
- 2) MCU (Master Control Unit)
- 3) RAM (RAM dinamica)
- 4) CASSETTE INTERFACE
- 5) DISK (Unità disco, 10 Mbyte, Winchester)
- 6) SPU (Sound Processing Unit)
- 7) SYSTEM DAC/ADC (Sistema di conversione digitale-analogica, analogica-digitale).

Con HIU si è definita l'unità di controllo e di accesso al sistema da parte dell'utente; questa consiste in un personal computer di media potenza basato su una CPU a 8 bit.

La Fig. 4 mostra il criterio base di interfacciamento per il passaggio ad un protocollo a I6 bit.

Attualmente il sistema è interfacciabile con personal che utilizzano processori: 6502, 6510, Z80, 6809.

L'unità MPU rappresenta la struttura centrale del sistema; ad essa viene affidata la gestione della partitura ed il controllo di tutti i processi di sintesi. Questa unità si basa sul microprocessore MC 68000 che viene da noi utilizzato con un clock a 8 MHz.

La Fig. 5 illustra questa unità che alla CPU, con il relativo circuito di RESET e di CLOCK, affianca la logica di decodifica della memoria. Questa è suddivisa in 8 Kilobyte di RAM statica e 4 Kilobyte di ROM adibita alla gestione dell'unità, vi è inoltre la logica di Interrupt che permette l'assegnazione delle priorità agli 8 livelli di interrupt gestiti dalla CPU e un circuito che permette la programmazione binaria del sistema e l'esecuzione ed il controllo a singolo ciclo (Fig. 6); con questo è possibile visualizzare, su un pannello a led, lo stato dei dati, degli indirizzi e dei controlli.

L'unità RAM e l'unità DISK sono rispettiva-

mente adibite alla gestione momentanea ed alla conservazione dei dati in elaborazione ed elaborati.

Le due unità sono costituite dal circuito di decodifica e Refresh la prima (256 Kilobyte), dal disco Winchester (10 Mbyte) e relativo Controller la seconda.

Una unità di I/O (Fig. 7) permette di gestire tramite due registri a 8 bit un totale di I6 linee di I/O, con possibilità di tre linee di interrupt ed il collegamento ad un'interfaccia RS - 232. Su questa unità è anche stata realizzata un'interfaccia cassetta (per memorizzazione su normale nastro magnetico) ed un programmatore di Eeprom che viene abilitato dalla logica di selezione sui bit più alti dell'Address Bus.

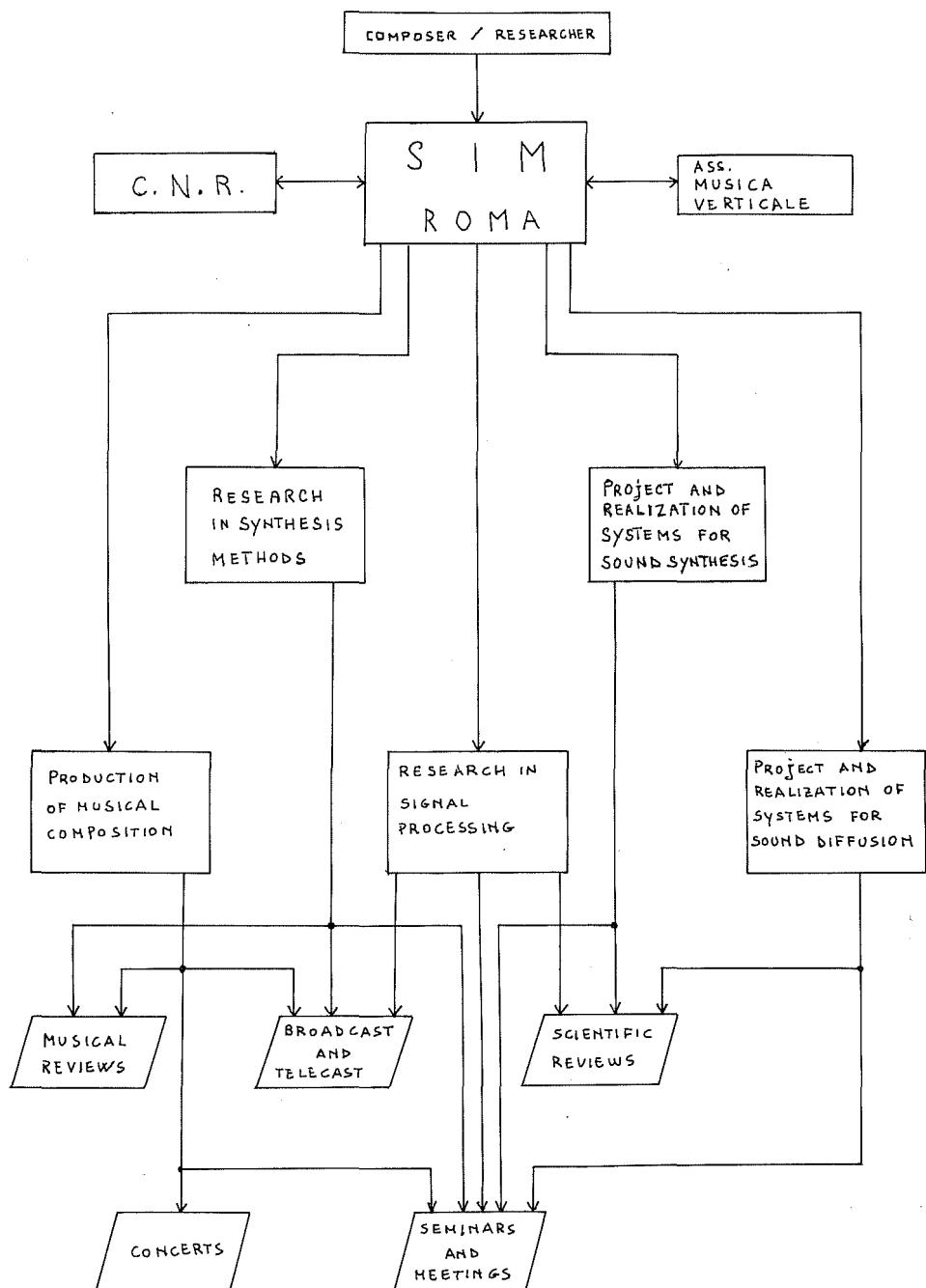
L'unità SPU è un'unità modulare; nel sistema Soft Machine se ne possono gestire 8 in parallelo. Questa unità è costituita dal processore digitale di segnali TMS320 ed è unicamente adibita ai processi di sintesi.

Più che soffermarmi sulle caratteristiche di estrema velocità (20 MHz clock) e versatilità di questo processore, vorrei precisare che l'ottimizzazione dei tempi di calcolo per il Real Time è dovuta soprattutto alla logica di trasferimento dei dati e controllo operato dalla MCU, ed in generale dal computer ospite (Soft Machine Real Time). La velocità ed il sincronismo nella relazione tra le due unità è stato permesso dalla struttura della SPU (Fig. 8); questa unità, nata da un progetto originale di Giorgio Nottoli, affianca al processore un timer programmabile, un'interfaccia per il computer ospite e 8 Kilobyte di RAM.

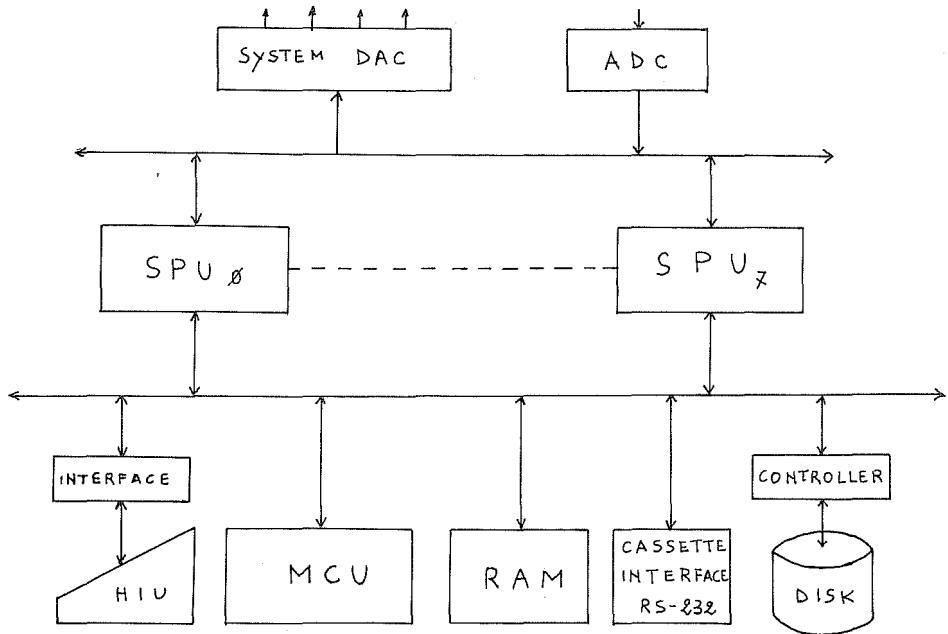
L'ultima unità è rappresentata dal Sistema di conversione Digitale-Analogico e Analogico-Digitale. In Fig. 9 è descritta la struttura dell'unità DAC che presenta, oltre al convertitore vero e proprio (I2 bit) e filtro integratore (48 dB), due registri con funzione di FIFO a due posizioni.

Lo Studio ha implementato sulla Soft Machine gli algoritmi di sintesi tradizionali (FM, AM, ADDITIVA etc.), un algoritmo di Lindoro Del Duca basato sulla equazione differenza di 2° ordine e si sta occupando in questo momento del Software per la Composizione (MSYS, MUSIC V) e per l'esecuzione in tempo reale.

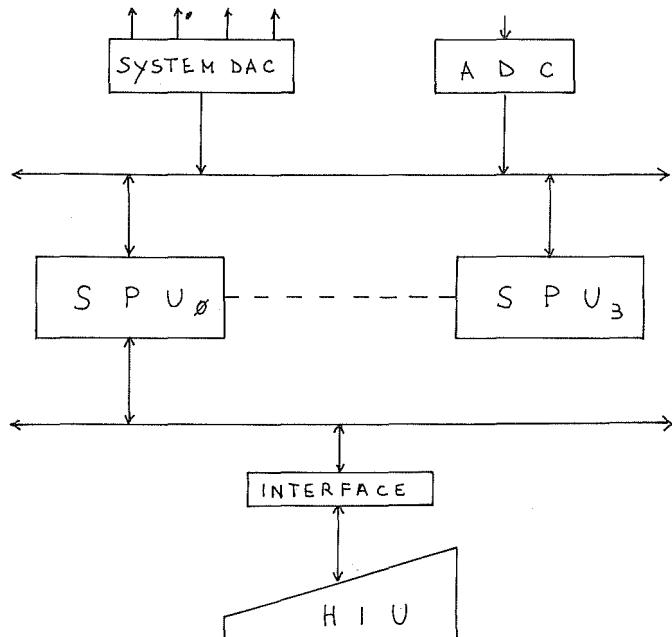
Lo Studio per l'Informatica Musicale di Roma è formato da: Lindoro M. Del Duca, Francesco Galante, Michelangelo Lupone, Giorgio Nottoli, Niccola Sani.



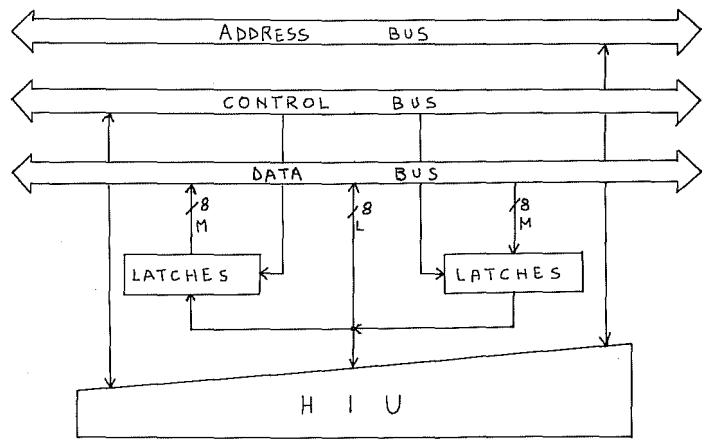
"FIG. 4 - ATTIVITÀ DEL S.I.M."



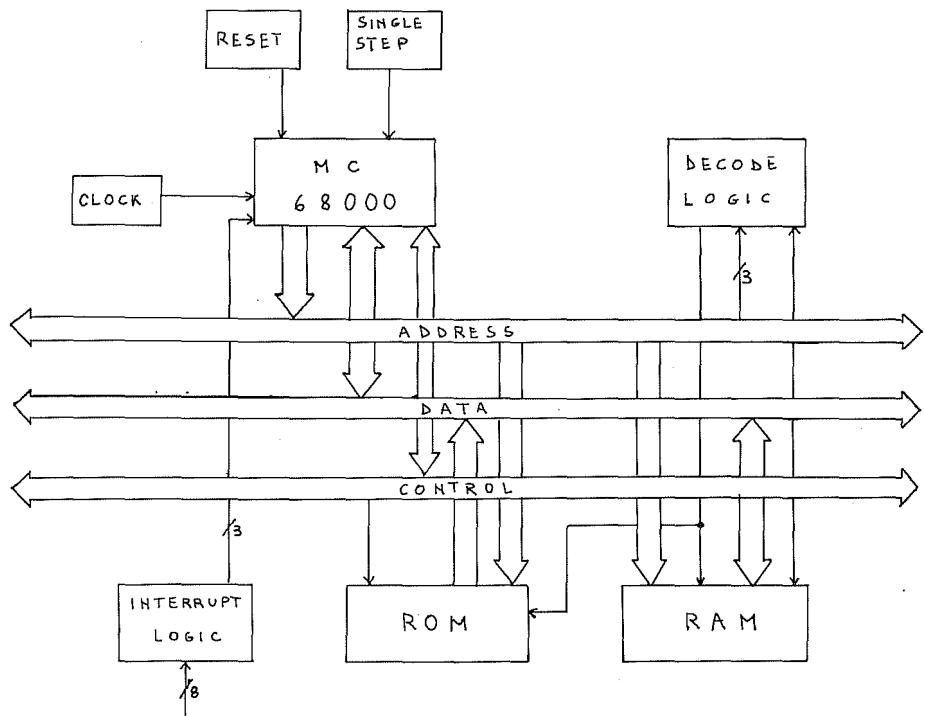
"FIG.2 - SOFT MACHINE"



"FIG.3 - SOFT MACHINE R.T."

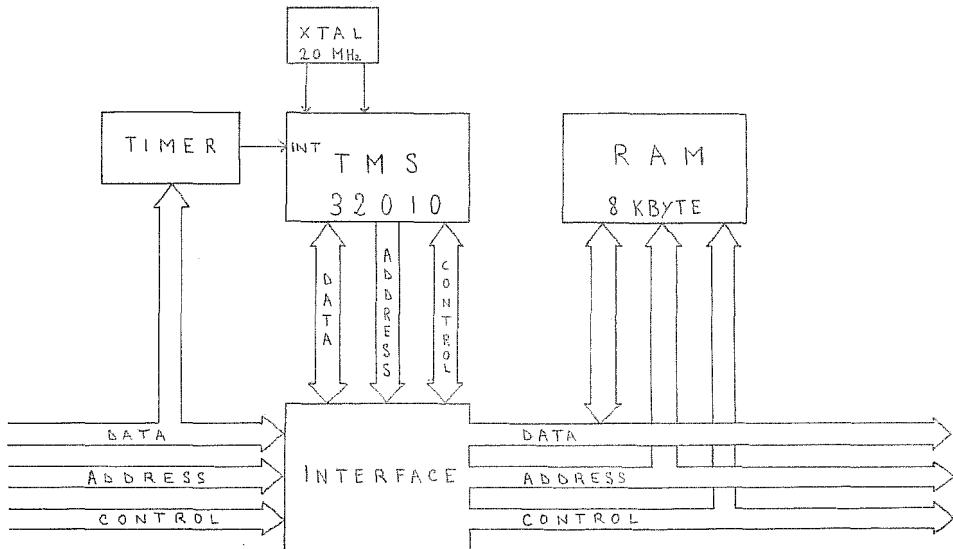


"FIG.4 - HIU INTERFACE"

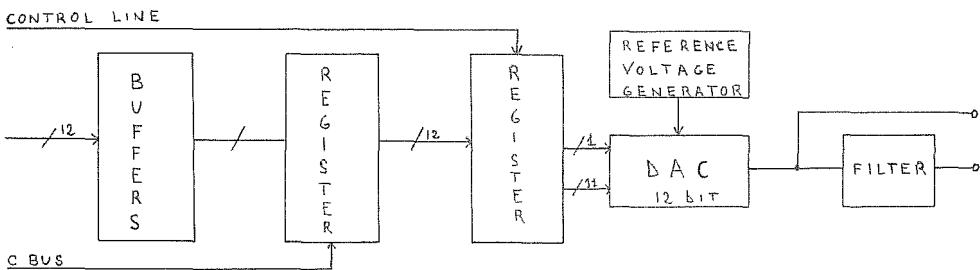


"FIG 5 - MCU"

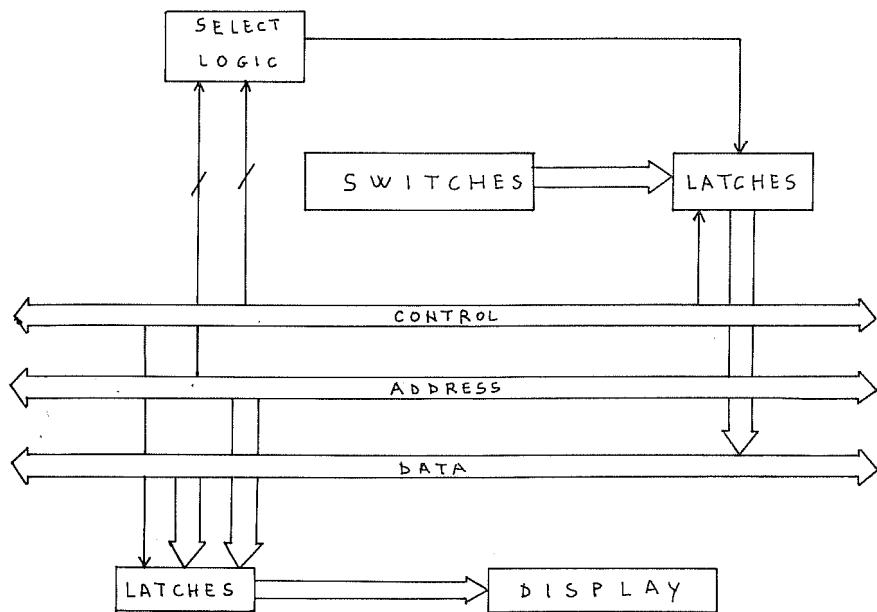
MICHELANGELO LU PONE



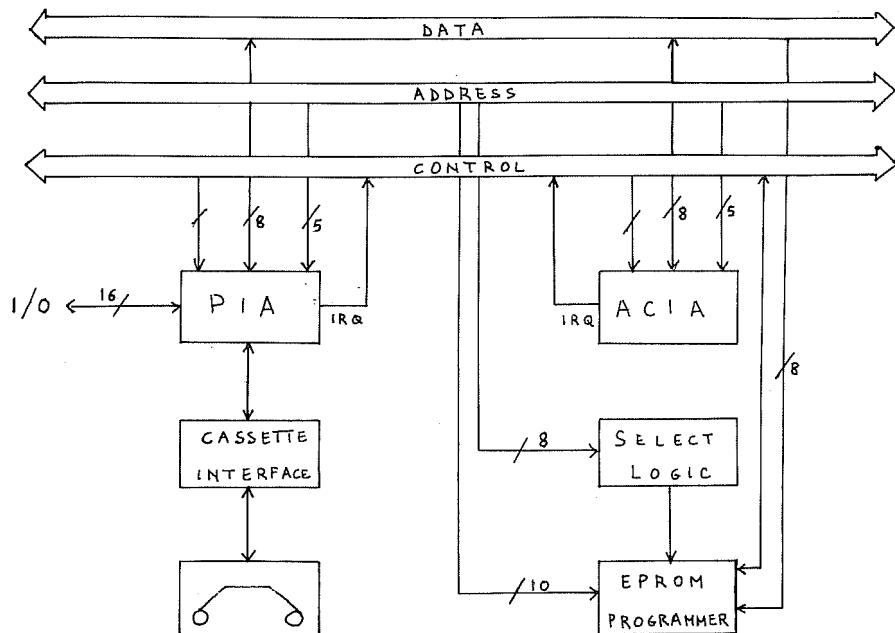
"Fig 8 SPU"



"Fig 9 SECTION SYSTEM DAC"



"FIG. 6-UNITÀ SINGLE STEP"



"FIG 7-UNITÀ I/O"

Lo Studio per l'Informatica Musicale di Roma

Riferimenti Bibliografici

1. P. Borruso, P. Giua, G. Nottoli, S. Santoboni "Il Sistema per la sintesi del suono in corso di realizzazione presso l'Istituto di Acustica O. M. Corbino, C.N.R. Roma. Atti del 3° C.I.M. - Univ. Padova, Aprile 1979.
2. P. Borruso, G. Nottoli, S. Petrarca, S. Santoboni "Descrizione del sistema di sintesi musicale MSYS I, Istituto di Acustica O. M. Corbino, C.N.R. Roma, Atti Convegno Nazionale AIA, Siena 1979, Ed. ESA- Roma.
3. G. Nottoli - Conservatorio L. Refice, Frosinone, "Pensiero Musicale e Tecnologia Contemporanea". Atti Convegno Nazionale AIA, Siena 1979.
4. F. Galante "L'attività in corso presso lo Studio per l'Informatica Musicale di Roma", Atti Convegno di Informatica: Musica/Industria, Tirrenia Sett. 1982, Ed. UNICO-PLI, Milano.
5. S. Petrarca, N. Sani "Studio Report S.I.M Roma, uso di tecnologie digitali avanzate per scopi musicali", ICMC 1982, Venezia, Sett.-Ott. 1982, in "Numero e Suono", Ed. La Biennale - E.R.I.
6. F. Galante, N. Sani "Computer Music a Roma, Lo Studio per l'Informatica Musicale", Strumenti Musicali, n° 40, Ed. Jackson Milano.
7. A. Tamburini "Computer Music in Concerto", Strumenti Musicali, n° 41, 42, Ed. Jackson, Milano.
8. M. Lupone "Senza Voci 2" Quaderni di Informatica Musicale Pescara 1983.
9. M. Lupone "S/Composizione" - Atti della Conferenza - Conservatorio A. Casella - L'Aquila 1981.
10. G. Nottoli "L'esigenza espressiva e il mezzo" - Quaderni di Informatica Musicale Pescara 1983.

L'UNITÀ PER L'ANALISI, ELABORAZIONE E
SINTESI DEL SUONO SPI/01 (SOUND PROCESSING UNIT/VERSIONEL)

GIORGIO NOTTOLI

S.I.M. - STUDIO PER L'INFORMATICA MUSICALE

Primo obiettivo del progetto è la flessibilità completa nella realizzazione dei metodi di sintesi del suono oggi conosciuti e nella sperimentazione di nuovi metodi.

Tale obiettivo è stato conseguito anzitutto scegliendo, come componente principale, il DSP TMS 320 che rappresenta un compromesso fra il processore specializzato al trattamento di segnali ed il computer per impieghi generali. Il set di istruzioni di questo componente, infatti, comprende tutto il necessario per controllare il flusso di programma (salvo condizionato e non, chiamate di sotto programmi, ecc.), oltre alle operazioni tipiche del digital signal processing (moltiplicazione parallela, shifter parallelo, funzione z^{-1} , ecc.).

In secondo luogo l'unità SPI/01 è progettata per operare in parallelo con un computer ospite.

Il bus locale dell'SPI comunica, attraverso il BUS CONTROLLER, con il computer ospite che, in dipendenza dall'arbitraggio eseguito dalla PROCESSOR'S INTERFACE può leggere o scrivere nella memoria RAM della SPI.

Il computer ospite, quindi, ha completo controllo riguardo al programma eseguito dalla SPI e sui dati da questa utilizzati.

In terzo luogo si è considerata importante, sempre per la flessibilità, la possibilità di definire in modo arbitrario la frequenza di campionamento al fine di ottimizzare caso per caso le esecuzioni del sistema. A tale scopo l'unità SPI è provvista di un TIMER PROGRAMMABILE

mediante il quale, il computer ospite può definire il periodo di campionamento in step di 400 nanosec., con un range che va da due microsec. a 102 microsec. o, in termini di frequenza di campionamento, rispettivamente da 500kHz a 9.84kHz. Ne consegue che la massima frequenza riproducibile va da 4.92 kHz a 250kHz (ben oltre la banda audio: 16kHz). L'utilizzatore può definire, quindi, la banda audio utilizzata con precisione, in dipendenza dalla complessità del programma di sintesi e/o dalle particolari necessità musicali che via via si presentino.

Secondo obiettivo del progetto è l'efficienza nell'esecuzione in tempo reale di strutture musicali complesse.

E' questo uno dei problemi più difficili da risolvere nella progettazione di un sintetizzatore digitale.

Supponiamo di dover eseguire una partitura musicale a 12 voci (per es. un'orchestra da camera): vi saranno 12 strumenti che suonano contemporaneamente, ciascuno dovrà essere abilitato a durate diverse in dipendenza dalle indicazioni in partitura (figure musicali, pause, ecc.) e dovrà avere, per ogni evento (nota) particolari caratteristici di altezza (frequenza), intensità (ampiezza), timbro (forma d'onda), modo di accordo (inviluppo) e durata (tempo in cui il suono è presente).

Si consideri inoltre che una partitura musicale polifonica contiene almeno qualche centinaio di eventi (note), ciascuno da descriversi come sopra esposto.

Da un punto di vista tecnico l'unità SPI risponde a tali esigenze mediante una lo-

gica di interfaccia appositamente studiata offrendo:

- precisione nella temporizzazione dei processi (nella sintesi digitale uno strumento musicale è simulato mediante un processo).
- alta velocità di trasferimento dati fra computer ospite e unità di sintesi del suono.
- perfetto sincronismo fra i processi di sintesi del suono e gli algoritmi di controllo di tali processi eseguibili da parte del computer ospite.

La responsabilità di immagazzinare i dati che descrivono gli interventi sonori (partiture musicali) è di gestire l'editing degli stessi è affidata, in questo progetto, al computer ospite. L'unità SFI è facilmente interfacciabile con la maggior parte dei personal computers ad 8 o 16 bits oggi presenti sul mercato. Tali computers offrono notevoli possibilità di interazione con l'uomo sia per via grafica (light pen) che mediante sensori di vario tipo (sliders, joystick, paddles, ecc.); cosa che consente in un sistema orientato alla sintesi del suono di controllare con facilità ed immediatezza il risultato.

Ciò risulta di grande interesse in tutte le applicazioni dell'informatica alla musica: dagli studi di registrazione alle esecuzioni in concerto di musica elettronica; dalla hobbyistica fino alla didattica musicale dove l'utente può anche essere un bambino in età prescolare.

RIFERIMENTI:

1. TMS 32010 and TMS320M10 High performance Microcomputers, Preliminary Data Manual, Microcomputer Series, Texas Instruments.
2. H.G.Halle "Music Synthesis Using Real Time Digital Techniques", Proc. IEEE, vol. 68, n. 4, p. 436-449, 1980.
3. J.A.Moorer "Signal Processing Aspects of Computer Music: A survey", Proc. IEEE, vol. 65, n. 8, p. 1108-1132, Aprile 1977.
4. M.V.Mathews, "The technology of computer music", ed. Mit Press, 1969.
5. A.V.Oppenheim, R.W.Shafer, "Digital Signal Processing", ed. Prentice-Hall, 1975.
6. S. Maillard, "Les distorsions de Musique V", Cahiers Recherche/Musique, n. 3, 1977.
7. G. De Ioli "Tecniche numeriche di sintesi della musica", C.S.G. Università di Padova, Bollettino n°1 LIMB-Biennale di Venezia.
8. J.Chowning "The synthesis of complex audio spectra by means of frequency modulation", Journal Audio Eng. Soc. Vol. 21, n.7, p. 526-534, sett. 1983.
9. B. Truax "The Organizational Techniques for C:M Ratios in frequency Modulation", Comp. Music Journal, vol. 1, n.4, p. 39-45, Nov. 1977.
10. C.Roads "Automatic Granular Synthesis of Sound" C.M.J., p. 61-62, vol.2, n. 2, 1978.
11. L.R.Rabiner, B.Gold "Theory and Application of Digital Signal Processing", Prentice-Hall, 1975.
12. Lindoro M.Del Duca "Introduzione ai filtri", Quaderni d'Informatica Musicale, n.2, Ed. Sonologia Computazionale E. Varese, Pescara.

**III Sessione
REPORTS**

L'ATTIVITA' DI INFORMATICA MUSICALE ALL'ISELQUI

AUTORI: ANTONIO BOSETTO
ENZO PEZZANI

ISELQUI S.p.A
Via Brecce Bianche - 60131 ANCONA
Tel. 071/8046351

Le aziende marchigiane operanti nel settore degli strumenti musicali negli ultimi anni sono state investite da una grave crisi dovuta sia a ragioni di mercato sia a ragioni di insufficiente attività di ricerca svolta negli anni scorsi. L'ISELQUI è stato fondato per affrontare questa situazione; le attività di ricerca attuate e previste si propongono di colmare il divario tecnologico esistente nei confronti della concorrenza internazionale. Sono state privilegiate ricerche sulla sintesi digitale del suono, da implementarsi mediante utilizzo spinto delle tecnologie VLSI.

Questo intervento vuole fornire una breve descrizione di che cosa è l'ISELQUI, di come esso si pone nei confronti delle industrie marchigiane, la maggior parte delle quali opera, come noto, nel campo degli strumenti musicali; e delle attività svolte soprattutto nel campo dell'informatica musicale da quando l'Istituto è divenuto operativo, poco più di un anno fa.

L'ISELQUI è una società consortile che raggruppa 23 aziende marchigiane operanti nel settore dell'elettronica; esse hanno sottoscritto il 51% del pacchetto finanziario dell'Istituto, mentre il rimanente 49% è stato sottoscritto dalla Finanziaria Regionale Marche.

La maggior parte delle aziende associate opera nel campo degli strumenti musicali; si tratta di aziende di piccole e medie dimensioni che affondano le radici in una antica e prestigiosa tradizione che si è imposta nel mondo grazie alla ingegnosità dei suoi artigiani. E con il passare degli anni, con l'irrompere delle tecnologie la produzione degli strumenti musicali è rimasta sostanzialmente artigianale, e questo anche quando le aziende si ingrandivano fino a impiegare centinaia di lavoratori. Questa caratteristica artigianale è vera anche dal punto soggettivo, psicologico in quanto il costruttore è e si sente direttamente, personalmente coinvolto nello strumento prodotto dalla sua azienda.

Queste aziende hanno conosciuto strepitosi successi sui mercati di tutto il mondo, prima con gli strumenti tradizionali e poi, negli anni 70, con gli strumenti

elettronici.

Il punto di massima espansione si è avuta nel 1979 con 250 miliardi di fatturato, di cui 170 all'export; 5200 occupati direttamente nel settore e circa 10000 nell'indotto. Bilancia commerciale attiva 130 miliardi.

A tre anni (1982) di distanza la situazione era radicalmente peggiorata: fatturato sceso a 200 miliardi, bilancia commerciale passiva; perdita di posti di lavoro, chiusura di aziende.

A determinare questa crisi hanno concorso il contemporaneo verificarsi della crisi economica generale che si è fatta sentire in tutti i settori dell'attività economica e della peculiare crisi del settore che ha visto messi a nudo improvvisamente i punti deboli che il boom degli anni precedenti aveva tenuto nascosto.

Molteplici sono le cause di questa crisi; qui ci si limita a considerare brevemente le cause legate all'innovazione tecnologica verificatasi negli ultimi anni nel settore elettronico.

L'avvento del microprocessore e delle tecnologie VLSI hanno impresso una rapidissima evoluzione ai ritmi di cambiamento del settore elettronico, rendendo disponibile in quantità abbondante e a basso prezzo grandi potenze di calcolo, che fino a poco tempo prima erano scarse e di costo elevato; questo fenomeno ha alimentato un rapido trasferimento di tecnologia ai settori dell'elettronica di consumo, che un tempo ne erano esclusi per

motivi di costo.

A questa diffusione di tecnologia si è accompagnata una omogeneizzazione dei metodi di progettazione nei vari settori dell'elettronica, per cui anche la figura dell'ingegnere elettronico si è andata modificando velocemente negli ultimi anni.

Tende sempre più a scomparire, o meglio tende a restringersi sempre più la figura tradizionale del progettista circuitale superspecializzato e si va delineando la figura del progettista di sistema che progetta a partire dai "building block" a elevate prestazioni che la tecnologia mette ora a disposizione; secondo alcune previsioni una situazione di questo tipo che attualmente tende a caratterizzare sempre più nettamente l'hardware si verificherà nel futuro anche per il software; alcuni prevedono un futuro in cui i moduli software saranno venduti così come ora sono venduti i moduli hardware.

Si è detto che la figura del progettista circuitale vede sempre più ridursi il suo campo di attività alla progettazione di integrati; è questa la via attraverso la quale il progettista tenderà a riprendersi l'iniziativa di progetto che attualmente gli è stata "espropriata" dalle ditte costruttrici di componenti elettronici; si prevede che nei prossimi anni la maggior parte dei componenti sarà progettata dalle "system house".

A tutto questo processo che in pochi anni hanno mutato radicalmente la situazione tecnologica dal settore elettronico, che ha mutato anche la situazione del mercato degli strumenti musicali (si considerino per esempio tutte le workstation musicali presenti sul mercato che si presentano come veri e propri "personal computer" o il mercato degli strumenti periferiche di "personal computer" standard), le aziende del settore dello strumento musicale elettronico marchigiane sono rimaste sostanzialmente estranee.

Il trasferimento di tecnologia di cui parlavo prima in Italia non è avvenuto per il settore degli strumenti musicali; è stato effettuato invece dai grossi gruppi della concorrenza straniera, culturalmente attrezzati e preparati a gestire questa fase di transizione.

La generazione del suono adottata è ancora analogica, i progettisti sono ancora a formazione prevalentemente analogica, negli scorsi anni non si è investito in ricerche sulla generazione digitale dei suoni, mentre oggi la tecnologia microelettronica consente di passare ai metodi di sintesi digitale che

si basano sull'elaborazione numerica dei segnali.

L'ISELQUI è nato dalla consapevolezza delle forze imprenditoriali e politiche delle Marche che una risposta alla sfida tecnologica poteva essere data solo in termini associativi, non essendo le aziende individualmente in grado per la loro struttura dimensionale di mobilitare le risorse per farvi fronte; l'attività dell'Istituto si è indirizzata in tre direzioni fondamentali:

1) Fornire servizi alle imprese nel settore della qualità e della affidabilità. A questo proposito è stato un marchio di qualità ISELQUI.

2) Svolgere attività di formazione di giovani laureati e diplomati, e di riqualificazione dei tecnici che già operano all'interno delle aziende. Questa attività è fondamentale per favorire l'adeguamento della figura del tecnico elettronico ai fenomeni descritti.

3) Svolgere attività di ricerca applicata sia nel settore degli strumenti musicali sia in settori alternativi in vista di una diversificazione produttiva all'interno del comparto elettronico marchigiano.

I settori alternativi individuati per una possibile diversificazione produttiva sono il settore telematico (è stato realizzato un terminale "Videotel" ed è in corso di progettazione un personal computer volto ad applicazioni telematiche), il settore della elettronica medica (è stato realizzato un sistema di monitoraggio continuo), il settore dell'automazione.

Per quel che riguarda l'informatica musicale sono state avanzate ricerche per adeguare lo strumento musicale alle moderne metodologie di sintesi e alle tecnologie più avanzate. A questo scopo sono state privilegiate ricerche sui metodi digitali di sintesi del suono che si basano sull'elaborazione numerica dei segnali.

Nel corso di questa attività abbiamo sviluppato e ci proponiamo di sviluppare ulteriormente legami di collaborazione con i criteri di ricerca che operano nel settore dell'informatica musicale, sia in Italia che all'estero, anche per favorire una ricaduta sull'industria del settore delle numerose ricerche condotte sull'argomento, ricaduta che è stata carente nel passato.

L'obiettivo generale verso il quale tende la nostra attività è che le aziende associate

siano messe nella condizione di progettare oggetti operando a livello il più possibile sistemistico, analogamente a quanto sta avvenendo negli altri settori dell'elettronica, come ho cercato di descrivere prima.

Perchè questo sia possibile occorre definire i macroblocchi funzionali su cui costruire lo strumento musicale e quindi procedere alla progettazione di tali blocchi, utilizzando componentistica microelettronica dedicata, logica programmata, microprocessori, programmi software.

Si intende utilizzare largamente la progettazione microelettronica che offre la possibilità di introdurre tecniche di elaborazione numerica a livello di costo compatibile con i prodotti in questione.

A questo scopo è stato realizzato in ISELQUI un centro di progettazione CAD.

CARMELO CAPPIELLO

CEMAMU - 3 Avenue de la République, 92131 ISSY LES MOULINEAUX, FRANCIA

L'Upic, concepito da Iannis Xenakis e realizzato dall'equipe del CEMAMU, è, tra i calcolatori orientati verso la composizione musicale, uno dei pochi accessibile anche a chi non conosca l'informatica. Pur essendo nato come strumento di composizione musicale, esso si è rivelato molto utile anche per l'iniziazione ai concetti fondamentali dell'acustica e della musica per ogni categoria di persone: bambini a partire da 5 anni di età, studenti, adulti...

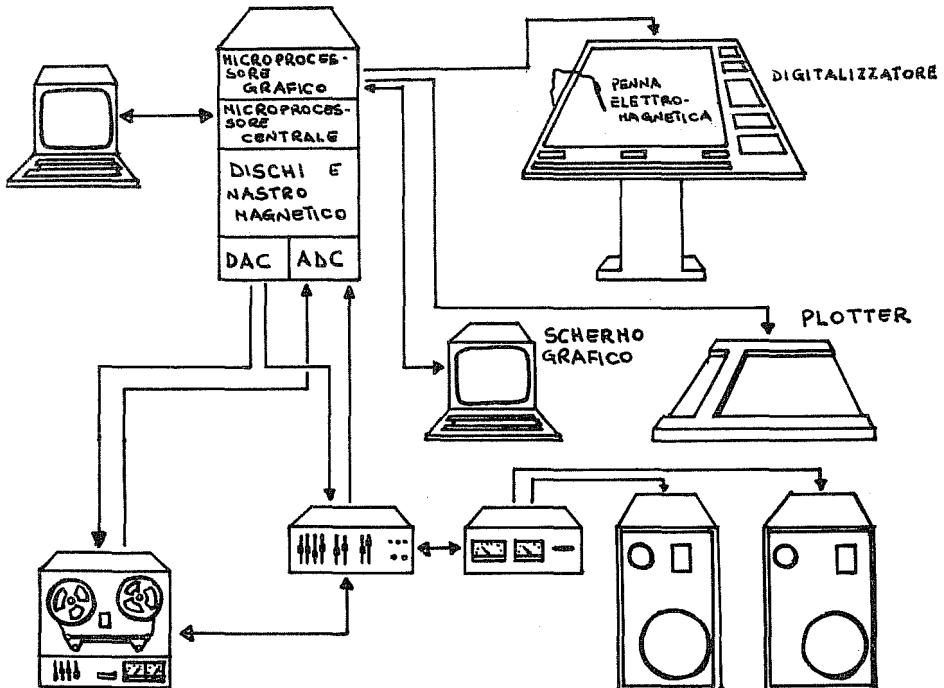
Il C.E.M.A.Mu (Centre d'Etudes de Mathématiques et Automatique Musicale) è un centro di ricerca diretto da Iannis Xenakis che ha come scopo lo studio dell'acustica e la ricerca in campo musicale.

1. L'UPIC

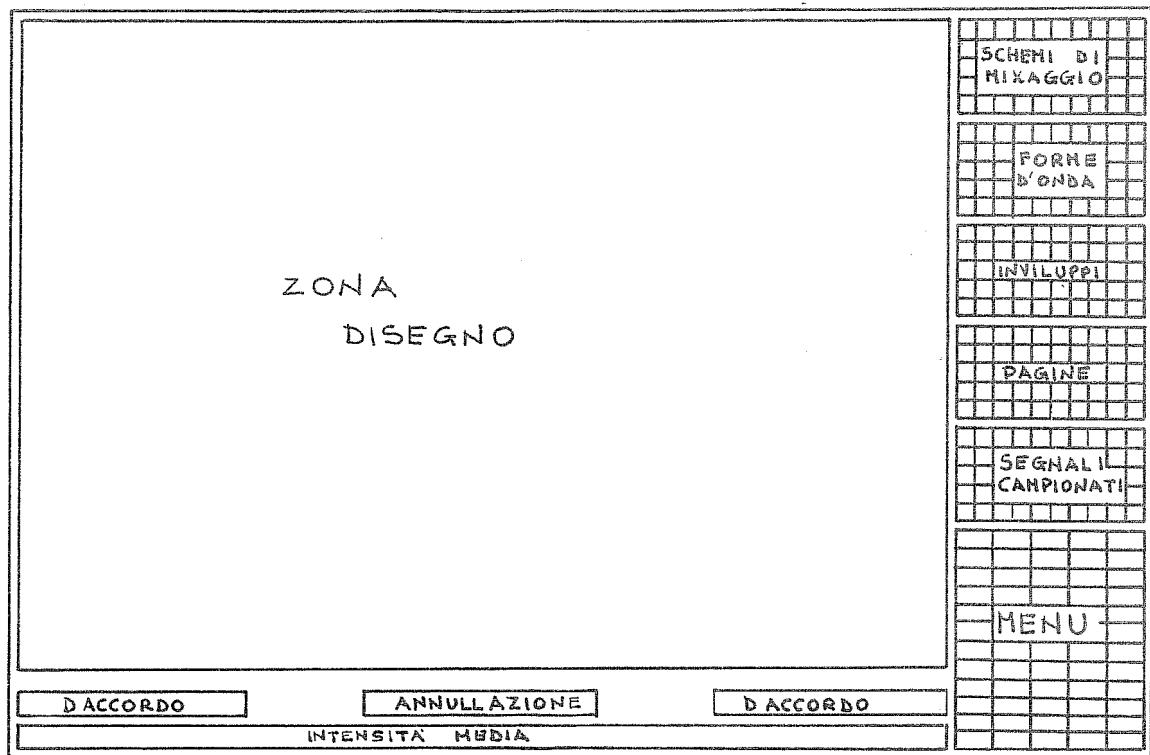
Esso ha realizzato a questo scopo un sistema, chiamato UPIC, la cui architettura è mostrata in figura 1.

L'originalità di questo sistema è costituita dall'insieme di periferiche grafiche e particolare dal digitalizzatore. Questo digitalizzatore costituisce l'unica interfaccia utilizzatore del sistema. Esso si presenta come un tavolo da disegno di formato AO (circa 1 metro per 1 metro e mezzo) diviso in varie zone con funzioni ben distinte (vedi figura 2).

La maggior parte della sua superficie è occupata dalla zona disegno, che costituisce il sistema di input dei dati verso il calcolatore. Sulla



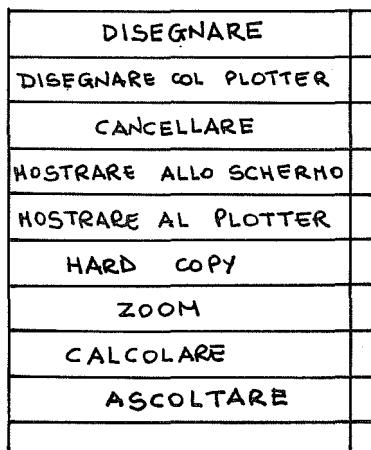
"Fig. 1 Architettura dell'UPIC"



"Fig. 2 Schema del digitalizzatore"

destra c'è il menu di funzioni e sottofunzioni, che costituiscono il sistema di input di ordini verso il calcolatore, e la banca dati, che permette di indicare gli argomenti delle funzioni.

Il digitalizzatore è la periferica privilegiata per l'ingresso di dati e ordini nel sistema: un apposito programma riconosce i gesti effettuati dall'utilizzatore impugnando una penna elettromagnetica. In particolare, se si indica con essa una delle caselle del menu (vedi fig.3), l'ordine corrispondente viene inviato al calcolatore.



"Fig. 3 Particolare del Menu"

2. I DATI DELL'UPIC

Una parte fondamentale dell'Upic è la banca dati. Essa può essere vista, da utilizzatori non esperti di informatica, semplicemente come una zona del tavolo da disegno. In questa zona ci sono una serie di caselle riunite in gruppi corrispondenti ognuno a un tipo di dato diverso. Selezionare un dato significa semplicemente indicarlo con la penna elettromagnetica, e questo gesto viene automaticamente interpretato dall'Upic. In tal modo la selezione dei dati è associata ad un'azione gestuale di tipo diretto, piuttosto che all'azione di scrivere una serie di ordini su una tastiera di calcolatore.

I dati dell'Upic possono essere considerati dei disegni, o, per essere più precisi, delle funzioni in spazi opportuni. Per questa ragione nell'Upic sono state privilegiate le periferiche grafiche, perché esse presentano una grande facilità di utilizzazione.

2.1. Forme d'onda e Inviluppi

Fra i dati trattati dall'Upic ci sono ovviamente forme d'onda e Inviluppi di ampiezza. Le forme

d'onda sono ordinariamente campionate su 1024 parole da 16 bits, ma per bisogni specifici il numero di parole può essere aumentato indipendentemente per ogni forma d'onda. Il numero di forme d'onda che possono essere utilizzate contemporaneamente è attualmente di 100 sul disco sistema, più quelle che possono essere su supporti mobili, come floppy disk e nastri magnetici. Gli inviluppi sono anch'essi campionati su 16 bits, e il numero di campioni dipende dalla complessità dell'inviluppo che si desidera realizzare.

2.2. Pagine

Se forme d'onda e inviluppi possono essere considerati componenti di base della musica informatica, le pagine ne costituiscono la macrostruttura. Nell'Upic esse hanno un aspetto molto simile ad alcuni spartiti di musica contemporanea (vedi ad es. la figura 4).

In questa pagina ogni linea può essere considerata uno strumento di un'orchestra, e la posizione rispetto all'asse orizzontale rappresenta la frequenza in ogni istante. Nella figura non sono rappresentate forme d'onda e inviluppi associati ad ogni arco.

2.3. Segnali campionati

L'insieme di una pagina e di forme d'onda e inviluppi associati ad essa può essere trasformata in musica grazie a un programma di calcolo. L'Upic è infatti un sistema di composizione e non di sintesi in tempo reale. Per questo motivo la musica viene calcolata ed è stoccatà su disco per poi essere ascoltata, registrata o trattata ulteriormente. Attualmente la capacità totale è di 30 minuti circa per segnali mono, e 15 minuti per segnali stereofonici.

Oltre a segnali ottenuti da calcolo, si possono introdurre nell'Upic segnali esterni convertiti grazie ai convertitori analogico/digitale (ADC).

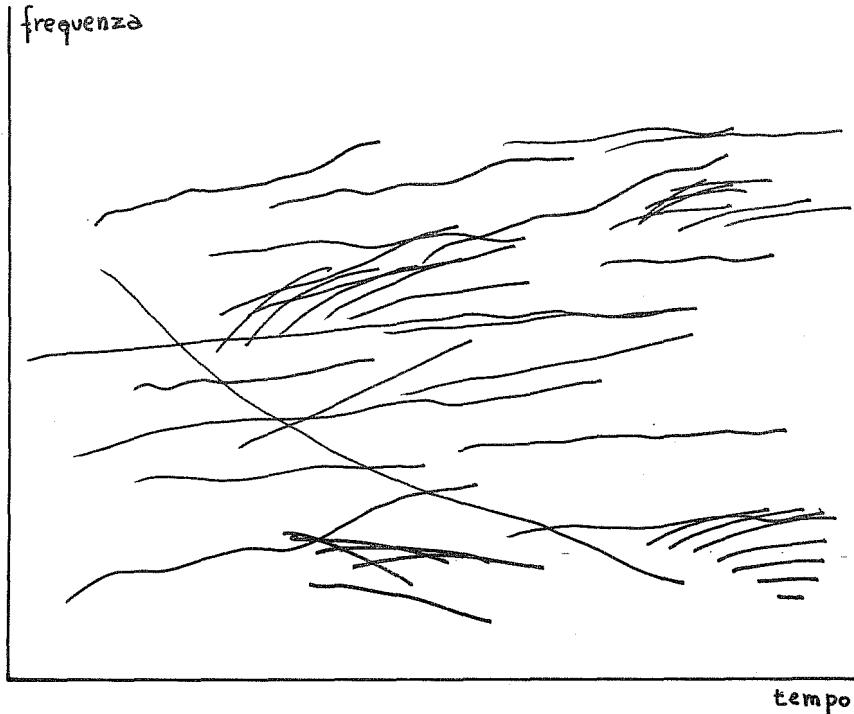
2.4. Schemi di mixaggio

Tutti i segnali possono essere miscelati secondo uno schema rappresentato graficamente. Lo schema di mixaggio è disegnato per mezzo del digitalizzatore e determina, per ognuna delle sorgenti di segnale, il momento di inizio, un inviluppo di intensità per tutta la sua durata, la sua intensità media e, nel caso di segnali stereofonici, la distribuzione tra il canale destro e sinistro. Le fonti di segnale per il mixaggio possono essere segnali esterni e segnali conservati su disco o su nastro.

3. LE FUNZIONI DI INPUT

3.1. Disegni

Tutti i dati possono essere introdotti nel sistema semplicemente grazie al disegno, dopo aver scelto sul menu la funzione opportuna. Questi disegni vengono realizzati per mezzo del digi-



"Fig. 4 Una pagina di musica sull'UPIC"

talizzatore su un'area di circa 1 metro per un metro e mezzo con la precisione di un ventesimo di millimetro.

3.2. Segnali esterni

L'acquisizione dei dati può inoltre avvenire a partire da segnali esterni; ogni tipo di segnale analogico può essere convertito e campionato per mezzo di convertitori Analogico/Digitale (ADC). I convertitori permettono di trattare segnali mono o stereofonici e di campionarli ad una frequenza di 50 kHz. Il risultato della conversione è su 16 bits, il che permette di ottenere un rapporto segnale/rumore di oltre 90 dB.

3.3. Programmi utilizzatore

Gli utilizzatori che conoscono l'informatica hanno infine la possibilità di eseguire dei programmi nell'Upic. I risultati di tali programmi, grazie ad un'apposita biblioteca di sottoprogrammi, possono essere introdotti nell'Upic nel formato opportuno per essere utilizzabili al pari di tutti gli altri dati introdotti in altro modo.

4. LE FUNZIONI DI OUTPUT

Le funzioni di output possono essere in due categorie fondamentali: le funzioni di feed-back e le funzioni di uscita vere e proprie.

Le funzioni di feed-back permettono all'utilizzatore di controllare in ogni momento quale tipo di azione sta effettuando, di conoscere i parametri attualmente utilizzati e di conoscere lo stato di sistema. I programmi utilizzatore hanno anch'essi accesso a tutte le periferiche di uscita, utilizzando la biblioteca appositamente realizzata. Come uscite si possono avere visualizzazioni o stampe sulle periferiche, e ovviamente l'uscita audio.

4.1. Visualizzazione allo schermo

Lo schermo grafico è tra le periferiche, quello che permette un dialogo costante tra l'utilizzatore e la macchina. Gli ordini inviati alla macchina a partire dal digitalizzatore vengono affissi in chiaro in un'apposita zona (zona alfanumerica). In caso di errore di sintassi in un ordine, nella stessa zona viene segnalato il

tipo di errore. Il resto dello schermo (zona grafica) permette di visualizzare tutti i gesti effettuati nella zona disegno del digitalizzatore. Un cursore grafico, rappresentato da una croce, si sposta seguendo gli spostamenti della penna elettronemagnetica sul tavolo; durante le funzioni di disegno, tutte le linee tracciate vengono visualizzate in questa zona grafica. Lo schermo può tracciare curve o scrivere caratteri in 16 colori differenti, selezionabili dall'utilizzatore.

4.2. Hard copy

Tutto ciò che è affisso allo schermo può essere ricopiato su di una stampante per avere una copia su carta. L'ordine di hard copy può essere dato a partire dalla tastiera dello schermo stesso o a partire dal digitalizzatore. La stampante permette di avere copie a basso costo e di formato ridotto, anche se non di ottima qualità.

4.3. Plotter

Per ottenere una migliore qualità di disegno, è possibile stampare i disegni per mezzo di un plotter. Questi disegni possono essere fatti con quattro colori differenti, e sono fatti su rotoli di carta di 30 centimetri per 50 metri. La definizione dei disegni effettuati per mezzo di questa macchina è del ventesimo di millimetro.

4.4. Audio output

Un'uscita fondamentale di un sistema di trattamento del segnale, è ovviamente l'uscita audio. Siccome tutti i dati dell'Upic sono sotto forma digitale, essi escono attraverso un convertitore digitale/analogico (DAC). Il risultato della conversione può essere mono o stereofonico ed è fatto su dati di 16 bits ad una frequenza di campionamento di 50 kHz.

5. LE FUNZIONI DI TRATTAMENTO

I dati vengono trattati nell'Upic in tempo differito, con due eccezioni: ascoltare una forma d'onda, modificandone la frequenza per mezzo della penna elettronemagnetica, o ascoltare una forma d'onda la cui frequenza è predefinita per mezzo di un arco. Nel secondo caso grazie alla penna elettronemagnetica è possibile variare l'unità di tempo utilizzata nella lettura dell'arco, cioè la velocità di lettura dell'arco stesso. Negli altri casi i trattamenti vengono effettuati in un tempo dipendente dalla loro complessità. Questo fatto non penalizza comunque l'utilizzatore, che può durante questo tempo continuare a lavorare senza dover attendere che il trattamento sia terminato. Egli sarà informato della fine del trattamento da un apposito messaggio affisso allo schermo di visualizzazione.

5.1. Calcolo di pagine

Il calcolo di una pagina è l'operazione che mette in gioco tutti i dati dell'Upic. Una pagina è un insieme di archi, ad ognuno è associata una forma d'onda, un involucro ed un'intensità. L'arco stesso determina la frequenza alla quale deve essere calcolata la forma d'onda nel tempo, e la durata complessiva della pagina è un parametro associato alla pagina. Il calcolo permette di mettere insieme elementi facili da trattare e visualizzare quando sono presi singolarmente, e ottenere un risultato macroscopico senza sforzi eccessivi. Il risultato del calcolo di una pagina è un segnale campionato. Esso può essere immediatamente convertito ed ascoltato, o può essere sottoposto ad ulteriore trattamento.

5.2. Mixaggio

Ad esempio più pagine possono essere mixate, e questa funzione è analoga a quella che si potrebbe effettuare su di una consolle analogica. La differenza è che i parametri di mixaggio possono essere definiti con grande precisione in maniera grafica.

5.3. Filtraggio

Il CEMAMU, oltre a realizzare uno strumento di facile utilizzazione, si è interessato anche a tipi di trattamento che corrispondessero alla stessa filosofia.

Due esempi di questi trattamenti sono il filtraggio e le trasformazioni morfologiche.

In generale la realizzazione di filtri digitali richiede una conoscenza approfondita delle tecniche di trattamento del segnale, soprattutto se si desiderano risposte in frequenza molto particolari. Per ovviare a questo problema, nell'Upic i filtri sono costruiti automaticamente a partire dalla curva di risposta in frequenza disegnata al digitalizzatore. In tal modo si possono avere filtri con qualunque caratteristica senza che per questo l'utilizzatore sia costretto a realizzare lui stesso l'algoritmo di calcolo corrispondente.

5.4. Trasformazioni morfologiche

Un altro tipo di trattamento che si può realizzare con l'Upic sono le "trasformazioni morfologiche".

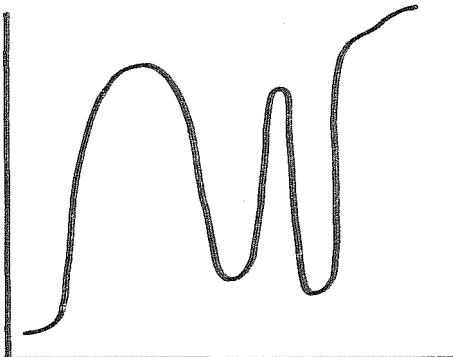
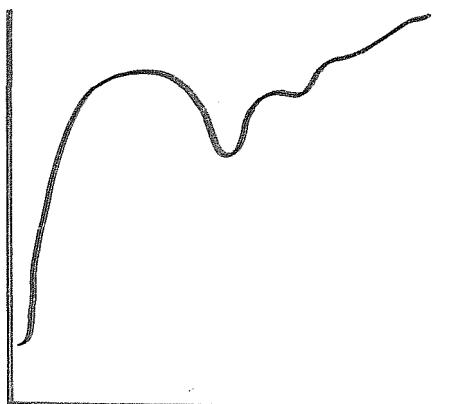
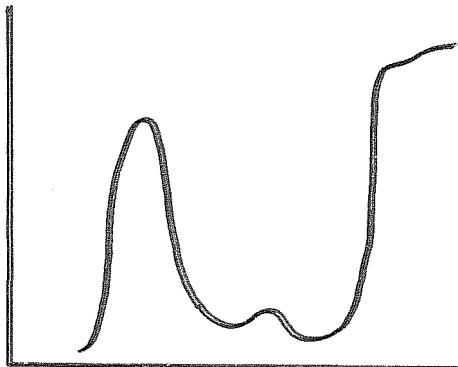
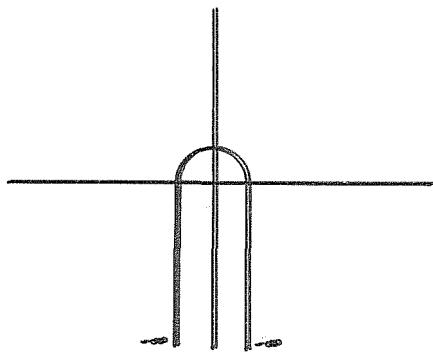
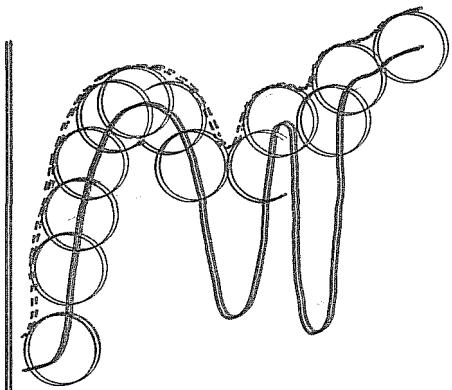
Queste trasformazioni si basano sulla teoria della morfologia matematica, che permette di modificare delle funzioni per mezzo di altre funzioni chiamente "elementi strutturanti".

Le trasformazioni di base di questa teoria si chiamano "dilatazione" e "erosione", e sono definite rispettivamente come

$$f \oplus g(x) = \sup_h [f(x-h) + g(h)] = \sup_h d_h(x)$$

$$f \ominus g(x) = \inf_h [f(x-h) - g(h)] = \inf_h e_h(x)$$

dove f è la funzione che si vuole trasformare, g è la funzione utilizzata per la trasformazione (elemento strutturante) e i simboli \oplus e \ominus rappresentano le operazioni di dilatazione ed erosione. Se si considerano la funzione f di figura 5 e l'elemento strutturante g di fig. 6, si ottengono le trasformazioni mostrate in figure 7 e 8.

"Fig. 5 Esempio di funzione $f(x)$ ""Fig. 7 Dilatazione $f \oplus g(x)$ ""Fig. 8 Erosione $f \ominus g(x)$ ""Fig. 6 Elemento strutturante $g(x)$ ""Fig. 9 Illustrazione della trasformazione $f \oplus g(x)$ "

A proposito di "FRANGENTE B" -

Serena Tamburini

Il lato più affascinante della composizione con mezzi elettronici è, secondo me, la possibilità di costruire il suono in tutti i suoi parametri.

Intervenire quindi in modo preciso sulle caratteristiche armoniche di ciascun suono, sull'ampiezza e sulla durata determinando tutto ciò fin nei più piccoli particolari.

Tutti questi parametri, così ben determinati, concorrono a formare l'aspetto più interessante del suono stesso cioè il timbro.

In "FRANGENTE B" l'evoluzione del timbro traccia un reticolato sonoro che via via nel tempo emerge in modo sempre più evidente.

Il lavoro è diviso in otto parti: di queste sette sono lo sviluppo dell'idea compositiva e l'ottava una conclusione.

Ciascuna parte è delimitata da un ictus iniziale che contiene tutto il materiale frequenziale che verrà usato nella parte stessa.

Il metodo di sintesi utilizzato è la "sintesi a forma d'onda fissa".

In questo lavoro l'oggetto sonoro elementare è costituito da una forma d'onda complessa, formata cioè da una serie di armoniche aventi appropriate ampiezze e fasi.

A tale forma d'onda viene assegnato un inviluppo d'ampiezza che ne varia l'intensità nel tempo, una durata e una frequenza fondamentale.

Per questo lavoro sono state scelte quattro frequenze fondamentali a due a due in rapporto armonico tra loro (precisamente di 5^og. 2/3 e 7^om 5/9).

Esse vengono utilizzate seguendo una precisa regola relazionata alle voci, che sono otto, e si avranno tutte quattro insieme soltanto nella 7^o parte.

A questo punto è stata identificata una serie di armoniche: quattro sono a due a due in rapporto armonico fra loro (come le frequenze fondamentali) e le ho chiamate, per comodità, armoniche base; 7 vanno dalla 7^o alla 29^o armonica scegliendo quelle prime tra loro e precisamente: la 7^o, 11^o, 13^o, 17^o, 19^o, 23^o, 29^o.

Si ottengono così 4+7=11 armoniche.

Esse sono insieme alle frequenze fondamentali i personaggi principali di questo lavoro proprio in relazione a quella evoluzione del timbro nel tempo ottenuto distribuendo il peso delle varie armoniche in modo diversificato.

Le quattro armoniche "base" hanno, sin dall'inizio, una notevole importanza sia per quanto riguarda la loro ampiezza che la loro effettiva durata e tale importanza cresce man mano che le parti scorrono. Esse, variamente utilizzate, sono sempre presenti nel tempo.

Le altre 7 armoniche hanno invece un rilievo minore sin dall'inizio: rilievo che diminuirà ulteriormente via via nel tempo.

Esse saranno tutte presenti, insieme alle 4 "base" solo nella prima parte.

Nella seconda parte non saranno più 7 le armoniche prime tra loro bensì sei. Il materiale utilizzato in questa seconda parte sarà composto quindi di 10 armoniche (6+4).

Nella terza parte le armoniche saranno 9, nella quarta 8 e così via sino ad arrivare all'ottava parte in cui sono presenti solo le quattro armoniche "base".

Stabilito così il materiale armonico e il suo movimento sono state scelte le durate dei vari eventi e i loro inviluppi di ampiezza.

Brevemente si può dire che le durate scelte sono la rappresentazione, in secondi, delle armoniche. Si avranno quindi 11 tipi di durate e precisamente di 2 3 5 9 7 11 13 17 19 23 29 secondi.

Per ciascuna parte è stata costruita una serie di durate utilizzando questi ultimi valori variamente assemblati.

"FRANGENTE B" è stato realizzato per mezzo del sistema di sintesi WS-8 basato sulla trasformata di fourier inversa, in base alla quale è possibile descrivere un segnale nel dominio della frequenza.

In altre parole il sistema permette di determinare un evento sonoro a partire dalle sue caratteristiche microstrutturali in termini di ampiezza e fasi attribuibili alle componenti armoniche di una forma d'onda periodica.

Oltre a ciò è possibile determinare la evoluzione temporale di tale forma d'onda, il suo inviluppo di ampiezza e la sua frequenza fondamentale.

IV Sessione
ELABORAZIONE NUMERICA DEI SEGNALI

IL DATA BASE RELAZIONALE DI SUONI REALIZZATO IN ISELQUI

AUTORI: GEMMA AVIO
PAOLO DANTI
SANDRO GABRIELLI

ISELQUI S.p.A.
Via Brecce Bianche - 60131 ANCONA
Tel. 071/8046351

Con questa comunicazione si intendono illustrare le caratteristiche di un archivio di suoni che è stato implementato presso l'ISELQUI, su elaboratore Digital-VAX730, ponendo in evidenza le sue peculiarità, la sua organizzazione, le utilities che esso puo' fornire all'utente.

Questo lavoro è stato realizzato in collaborazione con l'Università di Ancona.

Diversi fattori hanno concorso ad aprire questo filone di ricerca e di lavoro in ambito Iselqui, primo fra gli altri la constatazione che, almeno in Italia, non è disponibile una organica raccolta di suoni analizzati, e tanto meno organizzata in forma di data-base a cui poter accedere in modo semplice ed immediato.

E' noto che risultati di analisi effettuate su alcuni strumenti sono disponibili presso un po' tutti i centri di ricerca, ma quello che ci proponevano era di effettuare una raccolta sistematica di dati, dar loro una efficace organizzazione, renderli disponibili attraverso procedure semplici ed immediate. Ancora, ci si era proposti, e su questo ritorneremo più avanti, di rendere indipendente il data-base dal tipo di elaborazione effettuata sui dati stessi.

Quando poi si pensa che gli associati Iselqui sono in massima parte industrie produttrici di strumenti musicali elettronici, si puo' facilmente comprendere la rilevanza che aveva per noi colmare questa lacuna.

Per la raccolta dei segnali musicali, ovvero per la realizzazione dei nastri analogici, ci avvaliamo della collaborazione del Conservatorio di Pesaro; il nostro orientamento è quello di avere per ciascuno strumento, note suonate a vari livelli, con le diverse tecniche di esecuzione possibili; e che coprano interamente la tessitura dello strumento.

Riguardo alla registrazione analogica, occorre dire che abbiamo effettuato prove sia in camera anecoica che in

ambiente riverberante, optando infine per la seconda soluzione, in quanto l'ambiente anecoico non forniva particolari vantaggi a fronte delle indubbi complicazioni operative.

I segnali vengono quindi convertiti con una frequenza di campionamento di 50 KHz, con gli accorgimenti antialiasing classici.

Finalmente sul segnale campionato viene effettuata una analisi spettrale tempo variante tramite FFT. Dicevo prima che il data-base è indipendente dal tipo di elaborazione effettuata; questa distinzione prevista a livello di gestione, implica due aspetti; da un lato è possibile inserire dati provenienti da un qualunque tipo di analisi, dall'altro sono possibili passaggi di dominio da una rappresentazione all'altra.

Comunque la scelta del metodo di analisi, diciamo cosi', fondamentale dell'archivio è ricaduta sulla FFT, sia per esigenze di standardizzazione, che per la relativa semplicità di applicazione in una procedura automatica, che, infine, per la verificata sufficiente accuratezza. Da non sottovalutare inoltre che è cosi' possibile ottenere oltre alle classi che informazioni di ampiezza e frequenza, anche l'andamento relativo delle fasi; oltre a cio', si è in grado di estrarre non solo le componenti armoniche, ma anche eventuali componenti sub ed infrarmoniche, nonché di rumore (elementi tutti assai caratterizzanti da un punto di vista timbrico complessivo).

I parametri d'analisi (durata del segmento temporale, tipo di finestra, overlap tra segmenti ecc.) possono

essere scelti a piacimento; comunque per default viene selezionata una durata del segmento temporale pari a circa 10 msec., una finestra di pesatura del 2. ordine, un overlap del 70%.

All'attuale stato sono disponibili una cinquantina di toni di strumenti diversi, mentre la raccolta di nuovi suoni procede con regolarità, grazie anche, come ho già accennato alla collaborazione col Conservatorio di Pesaro.

Veniamo ora alla organizzazione vera e propria del data base.

Da un lato abbiamo le procedure di gestione e dall'altro quelle di ricerca. Per ovvi motivi di protezione, solo quelle di ricerca, con tutte le relative utilities sono disponibili all'utente, mentre esiste un operatore privilegiato che può accedere a quelle di gestione.

Le une e le altre accedono a tre diverse fonti: il file "descrittivo" dei suoni, con tutte le chiavi di accesso relativo ai diversi attributi di ricerca; il file con i dati veri e propri (da notare che non esiste alcuna duplicazione degli stessi); il file con le registrazioni digitali originarie.

Riguardo a quest'ultimo, si è scelto di conservarlo su nastro, quindi rimane di norma off-line rispetto all'archivio; questa scelta è stata fatta sia per la sua considerevole mole, sia per la sua poco frequente utilizzazione.

Vediamo in dettaglio le operazioni di ricerca, che poi sono quelle più interessanti dal punto di vista utente.

La ricerca in archivio è possibile, ovviamente in modo diretto, se l'utente conosce a priori il codice della nota di suo interesse; ovvero in modo guidato nel caso più frequente.

All'attuale scopo sono state definite diverse chiavi di accesso per ciascuna nota, ognuna descrittiva di un attributo caratteristico del suono desiderato. Per ora, nel senso che anche questo aspetto può essere automaticamente modificato ovvero è possibile aggiungere nuovi attributi, per ora dico sono state reputate sufficienti le seguenti chiavi: strumento, tecnica di esecuzione, nota, tipo di analisi, data della registrazione. La ricerca può avvenire tramite ognuna

di esse senza alcuna priorità. Fatte queste scelte ci siamo posti l'obiettivo di rendere il tutto semplice e intuitivo. Allo scopo, per la definizione delle chiavi di ricerca abbiamo scelto una procedura del tipo "Query by example" che consente un'interazione utente macchina piuttosto immediata e semplificata. In questo modo l'utente fornisce la chiave effettiva se è interessato a quell'attributo caratteristico, la omette in caso contrario.

A complemento esiste un "help" in linea a vari livelli, che aiuta l'utente e lo guida alla ottimale utilizzazione dell'archivio stesso, dalla fase di ricerca fino alle diverse utilities fornite.

Le utilities fornite all'utente sono:

- visualizzazione grafica del contenuto spettrale su video o su stampante;
- visualizzazione grafica dell'andamento temporale di ogni singola componente (armonica e non) in termini di ampiezza, frequenza, fase; ancora su video o su stampante; anche qui è disponibile un "help";
- accesso all'editor per la riduzione dei dati e la creazione di tabelle; quest'opzione finalizzata al sintetizzatore progettato in Iselqui, è di utilità generale, in quanto permette di selezionare variamente le componenti del suono, mediare su più intervalli temporali, operare quindi una riduzione a piacimento dei dati e constatarne l'effetto sulla forma d'onda generata; anche qui è disponibile un opportuno "help".
- la possibilità, di agganciare un qualunque programma definito dall'utente;
- accesso alle registrazioni originali, previa richiesta all'operatore di montare l'opportuno nastro.

Ancora, vorrei illustrare un'ulteriore caratteristica dell'archivio, che probabilmente ne sottolinea l'originalità e ne amplia notevolmente le potenzialità.

Il problema che ci si è posti è definire un concetto di distanza timbrica tra i suoni, una sorta di misura funzionale nello spazio dei timbri. Abbiamo proceduto

parallelamente da due punti di vista; riguardo al primo, che abbiamo definito "soggettivo", si è pensato di introdurre nel data-base una nozione di metrica appunto soggettiva, cioè dedotta da una serie di confronti psicoacustici e che organizza le note degli strumenti in un insieme di relazioni di vicinanza, stabilita in base a giudizi puramente musicali.

Dal secondo punto di vista, definito "oggettivo", si organizzano i timbri in uno spazio vettoriale; ogni nota è quindi rappresentata con una particolare traiettoria in questo spazio; in esso abbiamo definito una norma, questa rappresenta la misura della distanza funzionale tra le traiettorie.

Quindi da un lato si tien conto dell'aspetto percettivo, dall'altro si tenta una misura oggettiva.

Tutto questo ha una utilità immediata nell'archivio in quanto consente di ottenere informazioni relative a toni non analizzati, mediante interpolazione tra quelli più vicini; consente quindi di percorrere una sorta di "cammino" attraverso lo spazio dei timbri.

Una possibile evoluzione sulla quale stiamo attualmente lavorando, consiste nell'intrecciare i due aspetti, cioè nel "pesare" percettivamente la seconda metrica con la prima, ad esempio considerando la preponderanza psicoacustica nello spazio delle armoniche.

In conclusione queste sono le applicazioni che riteniamo possibili e che rendono l'archivio un prezioso strumento di lavoro:

- Ricerche acustiche su suoni/rumori
- Applicazioni musicali concrete
- Estrazione dei parametri per la sintesi sia analogica che digitale.
- Validazione di tecniche di sintesi
- Applicazioni di speculazione psicoacustica/musicale.

ESPERIENZE SULLA SINTESI DI SEGNALI AUDIO MEDIANTE FUNZIONI DI DUE VARIABILI

Aldo Borgonovo, Goffredo Haus, Caterina Trogu Röhrich

Istituto di Cibernetica - via Viotti, 5 - 20133 Milano

In questo lavoro viene descritta la tecnica per la sintesi di segnali audio mediante funzioni di due variabili introdotta da Mitsuhashi, la sua implementazione sul digital signal processor D.M.S. DMX-1000 e i risultati ottenuti dalla prima fase di sperimentazione in laboratorio. Questa tecnica può essere impiegata utilmente per la sintesi audio musicale; è infatti possibile controllare con un numero "piccolo" di parametri (da 1 a 10) sia l'andamento dinamico dello spettro che la parte stazionaria.

1. INTRODUZIONE

La ricerca descritta in questo lavoro è stata sviluppata nell'ambito dell'attività sulla sintesi digitale di segnali audio del Laboratorio di Informatica Musicale dell'Istituto di Cibernetica.

La motivazione che principalmente ha spinto alla effettuazione delle presenti ricerche è la necessità di sperimentare tecniche per la sintesi di segnali audio che permettano il controllo dinamico di spettri variabili nel tempo mediante un numero di parametri limitato.

In questo caso si è studiata e sperimentata la tecnica introdotta da Mitsuhashi (1), mediante la microprogrammazione del digital signal processor D.M.S. DMX-1000.

La tecnica sperimentata consiste nel campionare lungo una certa "orbita" una funzione di due variabili; l'orbita è calcolata mediante espressioni che rappresentano relazioni tempo-dipendenti delle stesse variabili.

In questo modo è possibile controllare l'andamento dinamico dello spettro del segnale variando i parametri (tempo-dipendenti e non) che costituiscono l'espressione della particolare orbita; le forme d'onda che si ottengono, come si vedrà più avanti, possono essere sia periodiche che aperiodiche.

2. DESCRIZIONE DELLA TECNICA DI SINTESI

Il principio su cui si basa la presente tecnica è che per ottenere un segnale nella banda audio si può campionare una funzione di n variabili lungo una certa orbita determinata mediante un'espressione delle variabili tempo-dipendenti; i campioni possono o essere calcolati o prelevati da una tabella di consultazione (tecnica di "table look up").

In particolare, è stato studiato il caso delle funzioni di due variabili; l'orbita sarà quindi determinata dalle specifiche relazioni $x = x(t)$ e $y = y(t)$.

In sostanza, le forme d'onda che si ottengono dipendono dalle relazioni che determinano l'orbita e

da una certa funzione di due variabili $F(x,y)$.

Sarà quindi molto importante scegliere con cura sia la funzione che l'orbita con cui percorrerla.

Mitsuhashi suggerisce di rappresentare la funzione nel campo $-1 \leq x \leq 1$ e $-1 \leq y \leq 1$ e che la funzione abbia le seguenti proprietà:

- i) sia la funzione che le sue derivate prime rispetto ad x e ad y siano continue nel campo di definizione;
- ii) la funzione abbia valore zero lungo il contorno del campo di definizione cioè $F(\pm 1, y) = 0$ e $F(x, \pm 1) = 0$;
- iii) per un certo valore di y , la derivata parziale del primo ordine rispetto ad x assuma lo stesso valore sui confini $x = \pm 1$;
- iv) per un certo valore di x , la derivata parziale del primo ordine rispetto ad y assuma il valore 0 sui confini $y = \pm 1$.

Come si vedrà più avanti, la terza proprietà (con la seconda) assicura che la forma d'onda ottenuta dalla sintesi non abbia sbalzi, gradini, ecc.

La quarta proprietà (con la seconda) assicura la possibilità di controllare le armoniche di ordine basso della forma d'onda sintetizzata.

L'orbita di campionamento con cui saranno "percorse" le tabelle contenenti i valori delle funzioni di due variabili usate sperimentalmente è data dalle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} x &= 2f_x t + \Phi_x + I_x(t) \sin(2\pi F_x t + \Psi_x) \\ y &= 2f_y t + \Phi_y + I_y(t) \sin(2\pi F_y t + \Psi_y) \end{aligned} \quad (1a)$$

dove f_x , f_y , F_x e F_y sono frequenze nel campo audio;

$\Phi_x, \Phi_y, \Psi_x, \Psi_y$ sono valori iniziali di fase; $I_x(t)$ e $I_y(t)$ sono parametri orbitali dipendenti dal tempo.

In particolare, usando solo parti della (1b) o della (1a) si è potuto studiare come variare l'orbita per ottenere forme d'onda periodiche e aperiodiche, con spettro variabile nel tempo e non, con contenuto armonico più o meno ricco, con armoniche pari o in alternativa armoniche dispari.

Fissata la funzione $F(x,y)$ sono quindi state studiate le stesse variazioni di orbita per tutte le funzioni considerate analizzandone le forme d'onda risultanti ed i relativi spettri.

Oltre alla funzione $f(x,y)$ cioè l'equazione (3) sono state considerate anche altre due funzioni di due variabili, entrambe soddisfacenti le condizioni i), ii), iii), iv):

$$g(x,y) = \begin{cases} (1-x)(1+y)(x-y), & \text{per } -1 \leq y \leq x \leq 1 \\ -(1+x)(1-y)(y-x), & \text{per } -1 \leq x \leq y \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

$$I(x,y) = \sin(1-x^2)\sin(1-y^2)(1-y^2)x \quad (5)$$

Nelle Figure 4-11 sono riportati alcuni esempi tratti dalle esperienze effettuate; in ogni figura è riportata una terna di grafici: il primo descrive l'orbita, il secondo descrive la forma di onda che si ottiene campionando con la particolare orbita indicata la funzione $f(x,y)$, il terzo descrive la forma d'onda che si ottiene campionando la funzione $g(x,y)$ con la medesima orbita; inoltre, nel terzo grafico è riportata per confronto la forma d'onda del secondo grafico (in tratto più scuro e segnato con circoletti); si può notare che i range di ampiezza del segnale nel terzo grafico sono su scala diversa per le forme d'onda ottenute dalla (3) e dalla (4).

Alcune osservazioni su questi esempi.

La variabilità dello spettro nel tempo può essere controllata mediante la relazione $I(t)$ nelle sue due componenti. Nella Figura 7 è un caso di questo tipo: $I(t)$ cresce linearmente nel tempo e le orbite sono progressivamente meno piatte e più raccolte; le forme d'onda sono rappresentate per tre cicli per illustrare la variazione; nelle altre Figure sono invece rappresentati solo i primi cicli delle forme d'onda.

In generale, si può vedere che al crescere del valore di I cresce l'"energia" delle armoniche alte; un esempio è ben illustrato dalle Figure 4 e 5.

Per ottenere onde periodiche si deve usare un'orbita che sia una specie di loop: quando esce dal campo di definizione deve rientrare nel punto esatto in cui l'orbita era iniziata. Viceversa, per ottenere onde aperiodiche è necessario usare orbite non cicliche, cioè che ad ogni ciclo di scansione della tabella della funzione di due variabili partano da indirizzi diversi della tabella.

Infine, è da notare la possibilità di ottenere segnali costituiti solo da armoniche pari o dispari. In Figura 10, appunto, è dato un esempio di orbita che produce forme d'onda costituite solo da armoniche dispari; così anche in Figura 11, dove l'orbita è una ellissi.

Volendo sintetizzare le impressioni generate dalle esperienze effettuate, si possono esprimere le seguenti tre considerazioni sull'uso di questa tecnica di sintesi:

a) si ottiene una notevole potenza nel controllo di strutture melodiche complesse, quali scale ascendenti e discendenti anche combinate tra loro;

b) mediante le orbite di tipo (1a) è possibile controllare agevolmente spettri variabili nel tempo;

c) l'esperienza sul DMX-1000 ha evidenziato la esigenza di tabella ampia per la memorizzazione delle funzioni di due variabili; due tecniche possono essere adottate per ovviare parzialmente alla carenza di memoria: sfruttare le simmetrie della funzione (ad esempio, la (3) può essere memorizzata sotto forma di (2) riducendo ad un quarto le sue esigenze di memoria) e usare varie forme di interpolazione.

La ricerca è comunque da considerare in una fase ancora intermedia del suo svolgimento; i suoi obiettivi ultimi saranno: l'ulteriore sperimentazione al fine di individuare funzioni di due variabili di particolare interesse per la sintesi di suoni musicali e della voce umana e la definizione di metodi per l'approssimazione di forme d'onda note mediante la tecnica di sintesi in oggetto.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

(1) - Y.Mitsuhashi, *Audio Signal Synthesis by Functions of Two Variables*, *JAES*, 30(1982), 701-706.

(2) - D.Wallraff, *DMX-1000 Programming Manual*, Digital Music Systems, Boston, 1979.

6. RINGRAZIAMENTI

Il lavoro illustrato in questo articolo è stato realizzato con il parziale contributo del Ministero della Pubblica Istruzione (Fondi 40%).

Un ringraziamento a E.Forgia per la fattiva collaborazione alla fase sperimentale e a M.Malcangi e N.Tosi per l'assistenza sistemistica.

Uno speciale ringraziamento al Centro di Calcolo dell'Università degli Studi di Milano per la disponibilità delle apparecchiature di acquisizione dati analogici e dell'elaboratore DEC PDP 11/34.

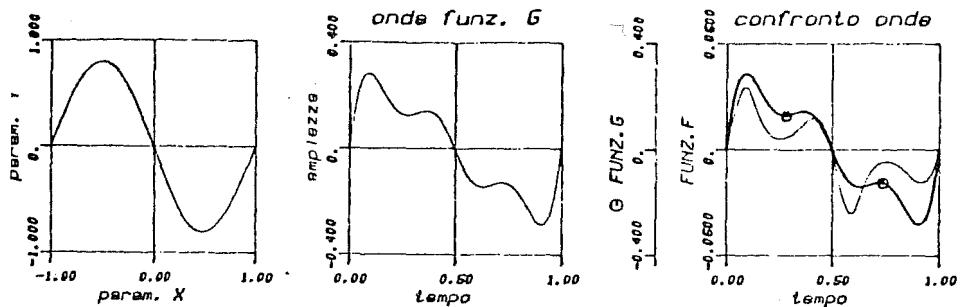


Figura 8: orbita definita da $x = 2f_0t$, $y = -4/5 \sin 2\pi f_0 t$

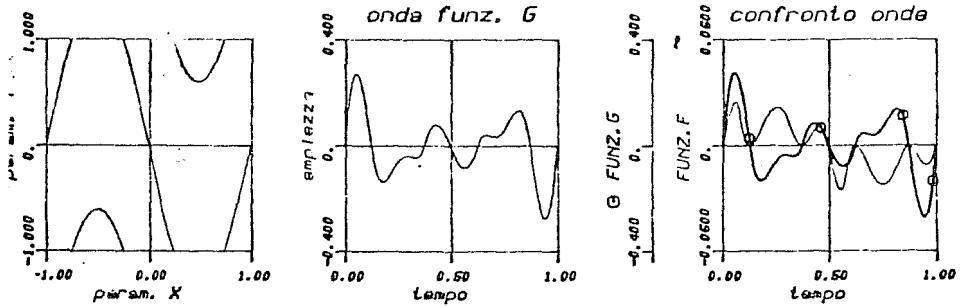


Figura 9: orbita definita da $x = 2f_0t$, $y = -7/5 \sin 2\pi f_0 t$

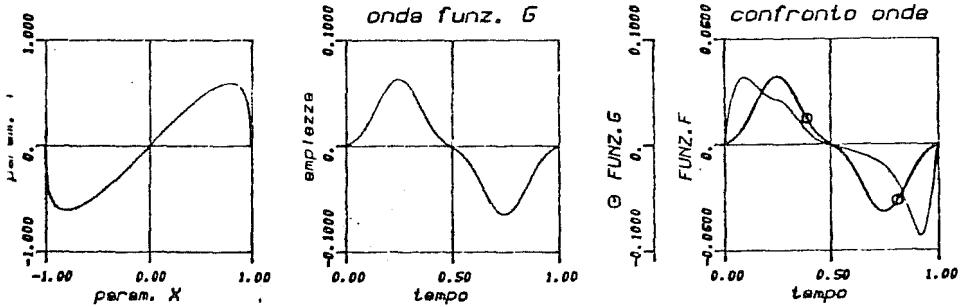


Figura 10: orbita definita da $x = 2f_0t + 3/10 \sin 2\pi f_0 t = 2I \sin 2\pi f_0 t$,
 $y = 3/5 \sin 2\pi f_0 t$

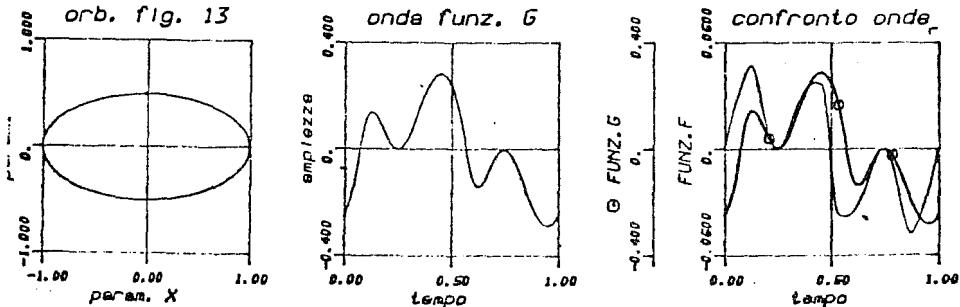


Figura 11: orbita definita da $x = \sin 2\pi f_0 t$, $y = 1/2 \cos 2\pi f_0 t$

Esperienze sulla sintesi di segnali audio mediante funzioni di due variabili

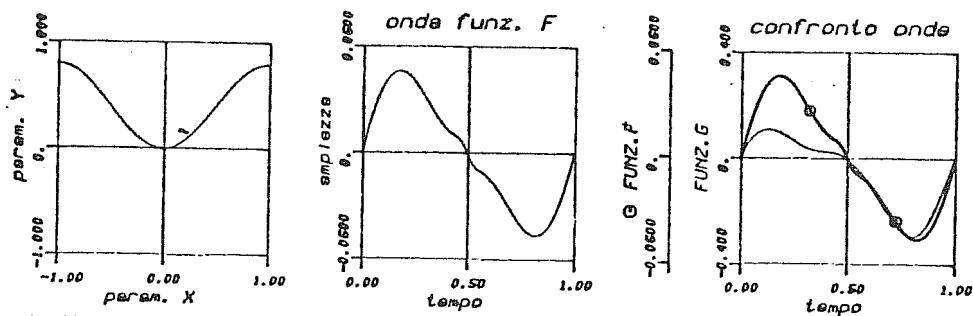


Figura 4: orbita definita da $x = 2f_0t$, $y = 2/5(1 - \cos 2\pi f_0 t)$

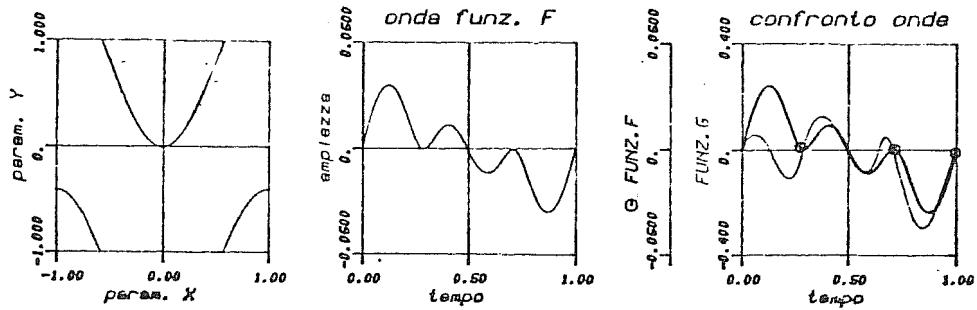


Figura 5: orbita definita da $x = 2f_0t$, $y = 4/5(1 - \cos 2\pi f_0 t)$

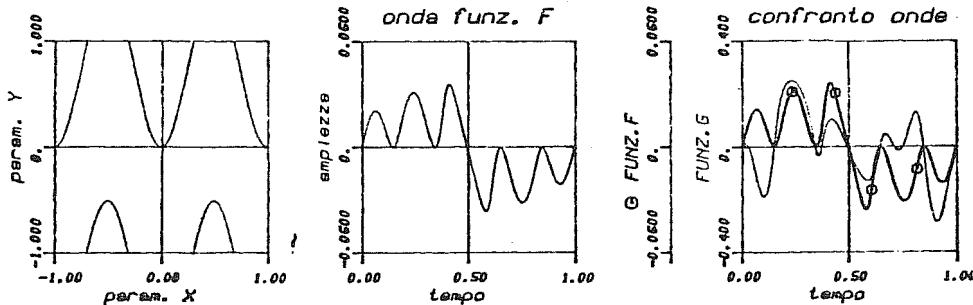


Figura 6: orbita definita da $x = 2f_0t$, $y = 3/4(1 - \cos 4\pi f_0 t)$

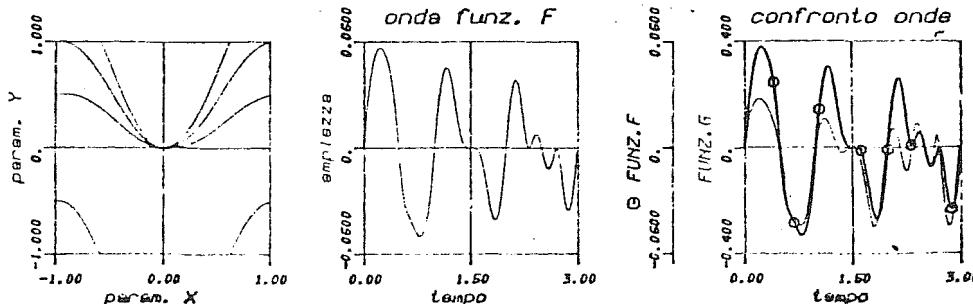


Figura 7: orbita definita da $x = 2f_0t$, $y = I_y(t)(1 - \cos 2\pi f_0 t)$ e con $I_y(t) = f_0 t/4 + 1/8$

Come si può vedere dal testo del microprogramma la orbita che viene percorsa è in realtà la seguente:

$$\begin{aligned} x &= 2f_x t + \Phi_x + I_x \sin(2\pi F_x t + \Psi_x) \\ y &= 2f_y t + \Phi_y + I_y \sin(2\pi F_y t + \Psi_y) \end{aligned} \quad (1b)$$

Per introdurre la dipendenza dal tempo di I_x e di I_y si dovrà introdurre nella memoria dati una terza tabella contenente la descrizione per campioni della funzione di inviluppo (o due tabelle se si vogliono inviluppi distinti per le due funzioni di ampiezza); si può vedere qui di seguito come realizzare la dipendenza dal tempo di I_x e di I_y mediante un'unica funzione:

```

54. NXT ; punta alla locazione (16)
55. NXT ; punta alla locazione (17)
56. MOVD ,X1,B,,D ; mette A1 in X1
57. ADDDA ,X1,X1,B,W ; somma A1 e B1 e scrive in locazione (17)
58. NXT ; punta alla locazione (18)
59. NXT ; punta alla locazione (19)
60. MOVD ,X2,B,,D ; mette A2 in X2
61. ADDDA X2,X2,B,W ; somma A2 e B2 e scrive in locazione (19)
62. NXT ; punta alla locazione (20)
63. MOVA X1,X ; mette A1+B1 in X per moltiplicare
64. NXT ; punta alla locazione (21)
65. MOVD ,X3,B,Y,D ; mette M in X3 e in Y per moltiplicare
66. MOVD ,X4,B,,D ; mette l'indirizzo del centro della tabella dell'inviluppo in X4
67. ADDDA X4,,,S,M ; somma A1+B1 moltiplicati per M con l'indirizzo del centro della
                     ; tabella dell'inviluppo e usa il risultato per indirizzare la
                     ; tabella e leggere I
68. NXT ; punta alla locazione (22)
69. MOVD ,X1,B,,D ; mette I in X1
70. MOVD ,,,S,D ; punta alla locazione (6)
71. MOVA X1,,,W ; mette I in locazione (6)
72. MOVA X2,,,X ; mette (A2+B2) in X per moltiplicare
73. MOVA X3,,,Y ; mette M in Y per moltiplicare
74. NXT ; punta alla locazione (23)
75. ADDDA X4,,,S,M ; somma A2+B2 moltiplicati per M con l'indirizzo del centro della
                     ; tabella dell'inviluppo e usa il risultato per indirizzare la
                     ; tabella e leggere I
76. MOVD ,,,S,D ; punta alla locazione (11)
77. MOVD ,,,W,D ; mette I in locazione (11)

```

Figura 3: parte del microprogramma per l'implementazione di $I_x(t)$ e $I_y(t)$

Nella memoria dati vengono caricati prima di eseguire il microprogramma:

- i diversi fattori di scala;
- gli indirizzi dei centri delle tre tabelle;
- le tre tabelle;
- i valori dei dieci parametri dell'orbita;
- i parametri per il calcolo di $I_x(t)$ e $I_y(t)$;
- le locazioni di memoria di I_x e I_y .

Possono essere inoltre migliorati gli aspetti di occupazione di memoria delle tabelle di funzioni simmetriche; diminuendo l'occupazione si può aumentare la precisione nella descrizione delle funzioni.

La memorizzazione di un seno può essere ridotta ad un solo quarto dell'intero ciclo.

4. DISCUSSIONE DEI RISULTATI SPERIMENTALI

Come è già stato accennato, la sperimentazione è stata realizzata utilizzando l'orbita descritta dalle relazioni (1b) e in una seconda fase da quella descritta dalle relazioni (1a).

La prima funzione $F(x,y)$ usata per caricare la tabella nella data memory del DMX-1000 è la seguente; definita una funzione $h(x,y)$ nel campo $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ con equazione

$$h(x,y) = \begin{cases} \left(\frac{1-y}{2}\right)^2 x(1+y-x), & \text{per } 0 \leq x \leq \frac{1+y}{2} \\ \left(\frac{1+y}{2}\right)^2 (1-x)(x-y), & \text{per } \frac{1+y}{2} \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

allora è possibile definire la funzione $f(x,y)$ come segue:

$$f(x,y) = \begin{cases} h(x,y), & \text{per } 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1 \\ h(1-x,-y), & \text{per } 0 \leq x \leq 1, -1 \leq y \leq 0 \\ -h(1+x,-y), & \text{per } -1 \leq x \leq 0, -1 \leq y \leq 0 \\ -h(-x,y), & \text{per } -1 \leq x \leq 0, 0 \leq y \leq 1 \end{cases} \quad (3)$$

Questa funzione rispetta le condizioni i), iii), iii), iv) ed è definita nell'intero campo $-1 \leq x \leq 1$, $-1 \leq y \leq 1$.

Variando i parametri dell'orbita (1b) si possono ottenere segnali nella gamma audio con caratteristiche molto differenti tra loro; è quindi stato un obiettivo primario di questa ricerca, l'individuazione di criteri che permettessero di variare i parametri dell'orbita determinando un segnale con caratteristiche prefissate.

Esperienze sulla sintesi di segnali audio mediante funzioni di due variabili

```

0. CLR ,X0,B,,S          ; azzerà il puntatore dei parametri
1. .CLR ,XF,B             ; azzerà il registro d'uscita
2. NXT                   ; punta alla locazione (1)
3. MOVD ,X1,B,D          ; X1=256=fattore di scala della tabella del seno
4. NXT                   ; punta alla locazione (2)
5. MOVD ,X2,B,D          ; X2=512=indirizzo del centro della tabella del seno
6. NXT                   ; punta alla locazione (3)
7. MOVD ,X3,B,D          ; X3=2f =sample increment della rampa di x
8. ADDDA X3,XA,B,D,W    ; calcola la rampa della x e la scrive come nuova fase
9. NXT                   ; punta alla locazione (4)
10. NXT                  ; punta alla locazione (5)
11. MOVD ,X4,B,D          ; X4=F t=sample increment del seno di x
12. ADDDA X4,X4,B,D,WY   ; calcola l'argomento del seno e lo scrive come nuova fase
13. MOVA X1,,,X           ; moltiplica per il fattore di scala
14. NXT                   ; punta alla locazione (6)
15. ADDDA X2,,,M,S        ; addiziona l'indirizzo del centro tabella di F(x,y) e usa il
                           ; risultato per indirizzare la tabella
16. MOVD ,,,D,Y           ; I_x dalla locazione (6)
17. MOVD ,,,D,X           ; valore del seno dalla tabella
18. NXT                   ; punta alla locazione (7)
19. ADDDA XA,XA,B,M       ; XA=x(t)
20. NOP                   ; dummy
21. NXT                   ; punta alla locazione (8)
22. MOVD ,X5,B,D          ; X5=2f t=sample increment della rampa di y
23. ADDDA X5,XC,B,D,WY   ; calcola la rampa della y e la scrive come nuova fase
24. NXT                   ; punta alla locazione (9)
25.-NXT                  ; punta alla locazione (10)
26. MOVD ,X6,B,D          ; X6=F t=sample increment del seno di y
27. ADDDA X6,X6,B,D,WY   ; calcola l'argomento del seno e lo scrive come nuova fase
28. MOVA X1,,,X           ; moltiplica per il fattore di scala
29. NXT                   ; punta alla locazione (11)
30. ADDDA X2,,,M,S        ; addiziona l'indirizzo del centro tabella di F(x,y) e usa il
                           ; risultato per indirizzare la tabella
31. MOVD ,,,D,Y           ; I_y dalla locazione (11)
32. MOVD ,,,D,X           ; valore del seno dalla tabella
33. NXT                   ; punta alla locazione (12)
34. ADDDA XC,,,M,X        ; XC=y(t)
35. MOVD ,X7,B,D          ; X7=1250=fattore di normalizzazione per y
36. MOVA X7,,,Y           ; 1250 moltiplicato y
37. NXT                   ; punta alla locazione (13)
38. ADDDA X7,XD,B,M       ; XD=1250y+1250=y'
39. MOVD ,X8,B,D          ; X8=25=fattore di normalizzazione per x
40. MOVA XA,,,X           ; x moltiplicato 25 (prima parte)
41. MOVA X8,,,Y           ; x moltiplicato 25 (seconda parte)
42. NXT                   ; punta alla locazione (14)
43. ADDDA X8,XE,B,M       ; XE=25x+25=x'
44. MOVD ,X9,B,D          ; X9=800=indirizzo inizio tabella di F(x,y)
45. ADDAB XD,XE,B          ; XE=x'+y'
46. NXT                   ; punta alla locazione (15)
47. ADDAB X9,XF,B,S        ; addizione dell'indirizzo di inizio tabella di F(x,y) e indirizzamento
                           ; nella tabella di F(x,y)
48. MOVD ,,,D,X           ; fattore di ampiezza dalla locazione (15)
49. MOVD ,,,D,Y           ; valore F(x,y) moltiplicato il fattore di ampiezza
50. NOP                   ; dummy, attende il risultato
51. MOVD ,XF,B,M          ; XF=valore finale
52. MOVA XF,,,DAC1         ; invia il valore al DAC1
53. MOVA XF,,,DAC2         ; invia il valore al DAC2
54-95. NOP                ; dummy, abbassano la frequenza di campionamento
96. HLT                   ; termina l'esecuzione del micropogramma

```

Figura 2: il micropogramma per la sintesi con funzioni di due variabili

Campionando la funzione $F(x,y)$ lungo l'orbita si ottengono le forme d'onda che potranno essere periodiche o aperiodiche e che saranno controllate mediante i dieci parametri qui sopra elencati.

In questo lavoro è stata considerata solo questa equazione per l'orbita, ma sono state sperimentate diverse funzioni $F(x,y)$.

La sperimentazione è stata realizzata mediante il sistema di analisi/sintesi di segnali audio del Laboratorio di Informatica Musicale (vedi Fig.1).

Nei prossimi paragrafi saranno descritti l'implementazione della tecnica di sintesi mediante digital signal processor microprogrammabile (cioè il microprogramma che realizza la funzione orbitale e le tabelle delle funzioni $F(x,y)$) e i risultati ottenuti dalla sperimentazione effettuata allo stato attuale della ricerca.

seguenti unità funzionali:

- calcolo del valore di x ;
 - calcolo del valore di y ;
 - normalizzazione della x e della y nel campo degli interi tra 0 e 49;
 - indirizzamento e prelievo del campione nella tabella in cui è memorizzata la $F(x,y)$.

Le microistruzioni 0-6 servono a caricare su registri del DMX-1000 i dati che devono essere utilizzati più volte; le microistruzioni 3-8 realizzano la parte di salita lineare della x ($2f_x t$ più relativa fase).

Le microistruzioni 9-19 calcolano la rimanente parte della relazione $x(t)$ mediante consultazione di una tabella di 512 elementi in cui è stato caricato il seno e sommano il valore trovato a quello ottenuto precedentemente con la rampa.

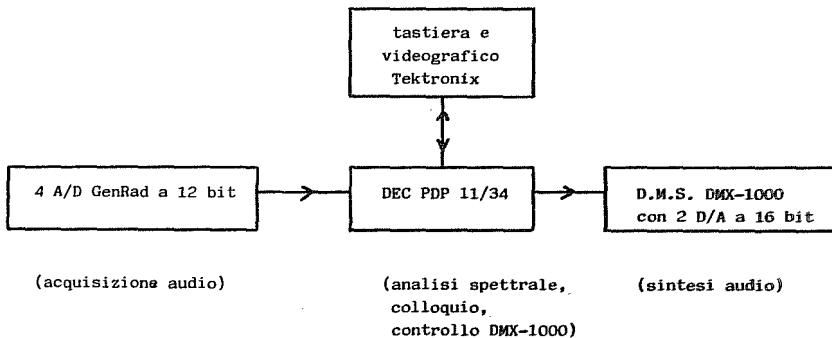


Figura 1: Schema del sistema di elaborazione utilizzato.

3. IMPLEMENTAZIONE SU DIGITAL SIGNAL PROCESSOR MICROPROGRAMMABILE

E' stato sviluppato un microprogramma per il digital signal processor D.M.S. DMX-1000 che realizza la tecnica di sintesi basata sulla campionatura di funzioni di due variabili.

Questo microprogramma ha la funzione di eseguire l'orbita consultando una tabella in cui è memorizzata la funzione $F(x,y)$ precedentemente caricata nella memoria dati del DMX-1000. L'orbita è determinata mediante i parametri che vengono passati al DMX-1000 direttamente da tastiera via elaboratore DEC PDP 11/34.

Si ha poi la possibilità di riacquisire il segnale generato mediante il DMX-1000 mediante convertitori A/D e quindi di memorizzarlo, analizzarlo spettralmente, ecc.

In Fig.2 è riportato il testo del microprogramma di cui viene data qui una breve descrizione; il codice del microprogramma è scritto nell'assembler del DMX-1000.

La struttura del microprogramma è costituita dalle

La medesima sequenza di operazioni avviene per il calcolo della y mediante le microistruzioni 21-34.

La tabella della funzione $F(x,y)$ è stata inserita in un vettore di 2500 elementi (50 x 50); per questo motivo è necessario che la x e la y siano normalizzate in modo da variare tra 0 e 49 così da poter ottenere un valore corretto per l'indirizzamento in tabella.

L'indirizzo del valore di $F(x,y)$ viene ottenuto mediante il seguente calcolo:

$$\text{ptr} = 25x + 25 + (25y + 25)50 + 800$$

ad è realizzata dalle microistruzioni 30-32

Il campione così ottenuto viene poi moltiplicato per un fattore che stabilisce l'ampiezza finale della forma d'onda (microistruzioni 48-50).

Il risultato viene infine inviato ai 2 PAC (51-53).

Il blocco di microistruzioni 54-95 è costituito da microistruzioni non operative che hanno il compito di abbassare la frequenza di campionamento a un valore sopportabile dai DAC (in questo caso circa 50 kHz).

SINTESI DI SUONI FM CON MODULANTE MODULATA

G. DE POLI

Centro di Sonologia Computazionale - Istituto di Elettrotecnica e di Elettronica
Università di Padova.

Viene analizzata una estensione della tecnica di sintesi dei suoni per modulazione di frequenza, in cui a sua volta la modulante è modulata. Sono trattati separatamente i casi corrispondenti a modulazione di fase e di frequenza e sono discusse le modalità di implementazione. Questa tecnica arricchisce le possibilità della modulazione di frequenza semplice e risulta inoltre particolarmente interessante in quanto esiste un algoritmo che consente di analizzare un suono secondo questo modello, ricavando la frequenza e l'andamento dell'indice di modulazione di due o più modulatori sinusoidali annidati.

1. INTRODUZIONE

Nella sintesi numerica del suono si è dimostrato molto efficace l'uso di tecniche non lineari, in quanto con la variazione di pochi parametri si possono controllare le caratteristiche complessive del suono generato [1]. Fra queste risultano particolarmente stimolanti nelle applicazioni musicali le tecniche in cui il segnale prodotto dipende da due o più segnali sinusoidali. Esso infatti avrà parziali con frequenza che dipende dalle due frequenze dell'ingresso. Regolando il loro rapporto è possibile ottenere tutta una gamma di suoni che possono essere completamente periodici, o solo con alcune armoniche fino a inarmonici e al rumore.

La più importante e più diffusa fra queste tecniche è la modulazione di frequenza [2]. Sono state proposte varie estensioni consistenti nell'utilizzare due o più portanti [2] o la somma di due o più modulatori sinusoidali [3,4]. Una ulteriore estensione che usa una modulante, a sua volta modulata, è stata talvolta usata praticamente [5,6], ma mai analizzata soddisfacientemente dal punto di vista teorico. Anzi Kendall [5] aveva riscontrato alcuni problemi nel suo uso. In questo lavoro ci si propone di studiare le caratteristiche di questa tecnica e la sua implementazione, fornendo anche delle indicazioni per la scelta dei parametri.

2. MODULAZIONE DI FASE

La realizzazione dell'algoritmo come modulazione di fase o di frequenza presenta alcune diversità, per cui è opportuno trattarle separatamente. Consideriamo la modulazione di fase in cui la modulante sia a sua volta modulata in fase (due modulatori in serie).

Il segnale è dato da

$$(1) \quad s(t) = \text{sen}[2\pi f_c t + I_1 \text{sen}(2\pi f_2 t + I_2 \text{sen}2\pi f_2 t)]$$

Sviluppando con le funzioni di Bessel rispetto al primo modulatore si ottiene

$$= \sum_i J_i(I_2) \text{sen}[2\pi f_c t + \\ + i \cdot (2\pi f_2 t + I_2 \text{sen}2\pi f_2 t)]$$

e sviluppando poi rispetto al secondo

$$(2) \quad = \sum_i \sum_j J_i(I_1) \cdot J_j(i \cdot I_2) \cdot \\ \cdot \text{sen}2\pi(f_c t + if_1 + jf_2)t$$

Il risultato può essere interpretato come se ciascuna parziale prodotta dal primo modulatore sia a sua volta modulata dal secondo modulatore con indice di modulazione iI_2 . Sono presenti tutte le parziali a frequenza $|f_c \pm if_1 \pm jf_2|$ con ampiezza $J_i(I_1) \cdot J_j(i \cdot I_2)$ dove praticamente $0 \leq i \leq I_1$ e $0 \leq j \leq I_2$. La massima frequenza significativa è pertanto $|f_c \pm if_1 \pm jf_2|$. Si può osservare che le bande laterali prodotte dal secondo modulatore sono tanto più larghe, quanto più ci si distanzia dalla portante, mentre sono assenti quelle attorno la portante (v. Fig. 1). Infatti se $i=0$

$$J_o(I_1) J_j(0) = 0 \quad \forall j \neq 0$$

E' utile confrontare questi risultati con il caso di modulazione di fase con la somma di due sinusoidi (due modulatori in parallelo). Si ha che

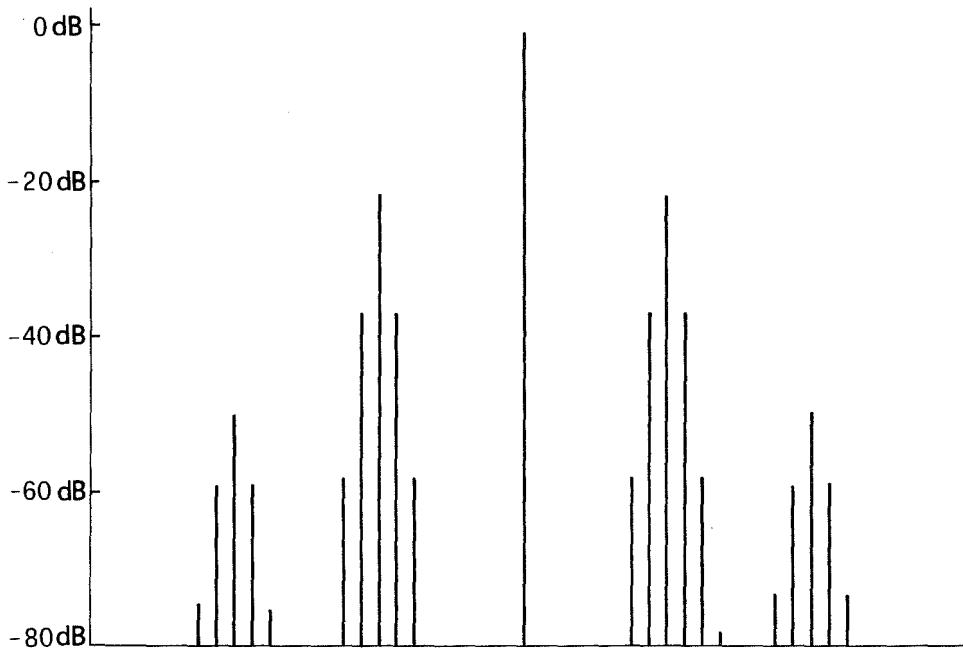
$$(3) \quad s(t) = \text{sen}(2\pi f_c t + I_1 \text{sen}2\pi f_2 t + I_2 \text{sen}2\pi f_2 t) = \\ = \sum_i \sum_j J_i(I_1) \cdot J_j(I_2) \cdot \text{sen}2(f_c t + if_1 + jf_2)t$$

Come si può vedere lo spettro è molto simile ed ha la stessa struttura armonica. Sono cioè presenti ancora le parziali a frequenza $|f_c \pm if_1 \pm jf_2|$ ma con ampiezza

$$J_i(I_1) \cdot J_j(I_2)$$

con $0 \leq i \leq I_1$ e $0 \leq j \leq I_2$.

A parità di indici di modulazione la banda è più

Fig. 1. Spettro prodotto da due modulatori di fase in serie ($N_1/N_2 = 8/1$).

ristretta e l'energia più concentrata verso la portante.

3. CARATTERISTICHE DELLO SPETTRO $|f_c + if_1 + jf_2|$

Prima di procedere all'analisi è opportuno studiare l'influenza delle varie frequenze sulla struttura armonica dello spettro prodotto. In genere infatti vengono tenute costanti le frequenze delle portanti o delle modulanti, mentre viene variata l'ampiezza di quest'ultima chiamata a indice di modulazione.

Si tratta quindi di analizzare un suono composto da parziali con frequenza $|f_c + if_1 + jf_2|$.

Se il rapporto tra le due frequenze f_1 e f_2 è un numero razionale esso può essere espresso come

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

da cui si ricava che il massimo comune divisore tra f_1 e f_2 risulta essere $f_m = \frac{1}{N_1} = \frac{2}{N_2}$. Ossia

le parziali prodotte dai due modulatori sono tutte multiple di f_m . Lo spettro pertanto ha una struttura del tipo

$$|f_c + Kf_m| \quad \text{con } K \text{ intero}$$

che è quella nota della modulazione di frequenza semplice in cui al posto della frequenza della modulante è stato sostituito il massimo comune divisore tra le frequenze delle due modulanti. Valgono quindi anche per questi spettri le possibilità dei suoni FM.

Pertanto se il rapporto $\frac{f_c}{f_m} = \frac{N_c}{N_m}$ può essere espresso come numero razionale, risulta che la fondamentale del suono generato vale

$$f_o = \text{MCD}(f_c, f_m) = \frac{f_c}{N_c} = \frac{f_m}{N_m}$$

e sono presenti tutte le parziali a frequenza

$$f_o \cdot (N_c + KN_m) = f_o \cdot (N_c + iN_1 N_m + jN_2 N_m)$$

Risulta pertanto che un N_m caratterizza la distanza delle parziali e che in particolare se N_m è uguale ad uno, il suono è periodico e sono presenti tutte le armoniche; se N_m è uguale a due sono presenti solo le armoniche dispari; se N_m è uguale a tre mancano le armoniche multiple di tre. Valgono anche per questo caso le considerazioni nelle famiglie di suoni in base ai rapporti $/7/$.

Tutto questo vale tanto più N_1 e N_2 sono piccoli. Altrimenti la fondamentale risulta molto bassa e non ricostruibile dall'orecchio e le parziali sono sparpagliate sull'inteso spettro. Se le ugualanze con rapporti semplici sono verificate approssimativamente, si creano battimenti fra le varie componenti che rendono il suono vivo ed in continua evoluzione.

Ad esempio se $f_1 = 200\text{Hz}$ e $f_2 = 300\text{Hz}$ risulta $\frac{f_1}{f_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{2}{3}$, da cui $f_m = 100\text{Hz}$.

Se $f_1 = 100\text{ Hz}$ lo spettro sarà del tipo $|100 \pm K100| = 1100$, la fondamentale $f_o = 100\text{Hz}$ il rapporto

$\frac{N_c}{N_m} = \frac{1}{1}$. Sono presenti quindi tutte le armoniche.

Se $f_c = 150\text{Hz}$ allora lo spettro è del tipo $|150 \pm 100|$, la fondamentale è $f_0 = 50\text{Hz}$ e il rapporto $N/N_m = 3/2$, per cui sono presenti solo le armoniche dispari.

Se $f_c = 101\text{Hz}$ allora lo spettro è del tipo $|101 \pm 100| = |i \cdot 100 \pm 1|$; ogni armonica è composta da due sinusoidi distanti 2Hz che battono tra loro.

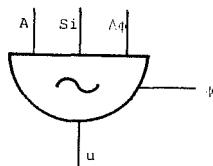
4. IMPLEMENTAZIONE.

Per l'implementazione della modulazione di fase con linguaggi tipo MUSIC V conviene ricorrere all'oscillatore a tre ingressi OSC3 (Fig.2). Gli ingressi sono l'ampiezza A, la frequenza in sampling increment (Si) e la variazione della fase ($\Delta\phi$). Ha inoltre una variabile di urto per la fase istantanea. L'algoritmo realizzato è il seguente :

```

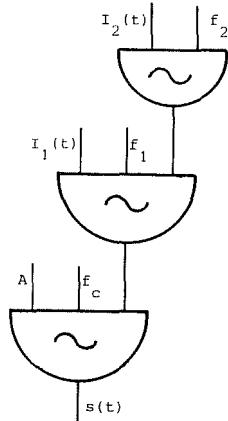
 $\phi \leftarrow \phi + Si$ 
 $u \leftarrow A * F(\phi + \Delta\phi)$ 

```



"Fig. 2 modulo OSC 3 "

La realizzazione della modulazione di fase in serie è illustrata in Fig. 3.



"Fig. 3 modulazione di fase in serie realizzata con OSC 3".

Spesso nei linguaggi di sintesi questo modulo non è disponibile. Studiamo quindi come implementare questa tecnica con l'oscillatore normale OSC comandato in frequenza.

Se gli ingressi sono A (ampiezza) e ω (pulsazione

in sampling increment), l'espressione calcolata è, considerando per semplicità i segnali continui,

$$\phi(t) = \int_0^t \omega(t) dt$$

$$s(t) = A * F(\phi(t)) = A * F\left(\int_0^t \omega(t) dt\right)$$

Bisogna quindi utilizzare la pulsazione istantanea che, si ricava dalla fase con

$$\omega(t) = \frac{d\phi(t)}{dt}$$

Detta $\phi_1(t)$ la fase istantanea della 1^a modulante e $\phi(t)$ la fase istantanea della portante risulta

$$(4) \quad \phi_1(t) = \omega_1 t + I_2 \sin \omega_2 t$$

$$(5) \quad \phi(t) = \omega_c t + I_1 \sin(\phi_1(t))$$

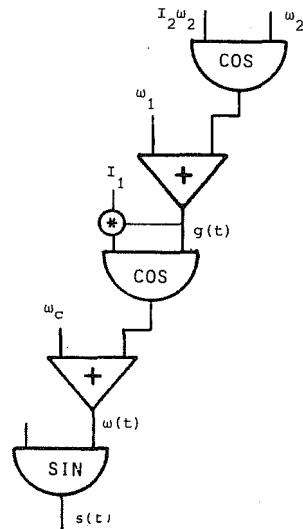
Si deve ora ritrovare la pulsazione istantanea della 1^a modulante ($g(t)$) e quello della portante ($\omega(t)$)

$$(6) \quad g(t) = \frac{d\phi_1(t)}{dt} = \omega_1 + I_2 \omega_2 \cos \omega_2 t$$

$$\omega(t) = \frac{d\phi(t)}{dt} = \omega_c + I_1 \frac{d\phi_1(t)}{dt} \cdot \cos(\phi_1(t))$$

$$(7) \quad = \omega_c + I_1 g(t) \cdot \cos\left(\int_0^t g(t) dt\right)$$

Lo schema che realizza queste espressioni è illustrato in Fig. 4 dove si nota che l'ampiezza del primo modulatore è ottenuta moltiplicando l'indice di modulazione I_1 per la pulsazione istantanea $g(t)$. Questa moltiplicazione può essere evitata



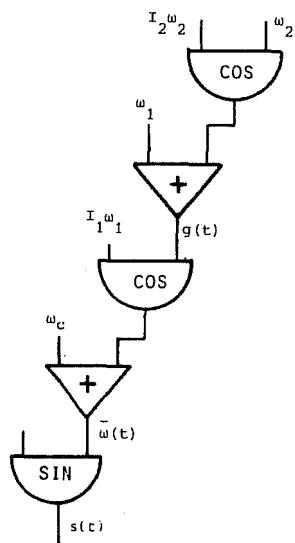
"Fig. 4 modulazione di fase in serie realizzata con OSC".

solo se l'indice di modulazione è unitario.

5. MODULAZIONE DI FREQUENZA

Lo schema di figura 4 realizza una modulazione di frequenza equivalente alla modulazione di fase esaminata precedentemente.

Esaminiamo ora cosa succede se si adatta lo schema di fig. 5 in cui si è eliminata la moltiplicazione di I_1 per $g(t)$. L'ampiezza del primo modulatore non dipende più dal secondo modulatore, ed è posta uguale $I_1 \omega_1$, in analogia alla FM normale.



"Fig. 5 modulazione di frequenza in serie"

Per analizzare l'effetto conviene cercare di trovare la corrispondente modulazione di fase. La pulsazione $g(t)$ e la fase istantanea $\phi_1(t)$ del primo modulatore sono ancora date da (4) e (6), mentre è diversa la pulsazione istantanea $\bar{\omega}(t)$ della portante.

$$\begin{aligned} \bar{\omega}(t) &= \omega_c + I_1 \omega_1 \cos(\phi_1(t)) = \\ (8) \quad &= \omega_c + I_1 \omega_1 \sum_{K=1}^M J_K(I_2) \cdot \cos(\omega_1 + K\omega_2)t \end{aligned}$$

La fase istantanea della portante $\bar{\phi}(t)$ risulta:

$$\begin{aligned} \bar{\phi}(t) &= \int_0^t \bar{\omega}(t) dt = \omega_c t + \sum_{K=1}^M [J_K(I_2) \cdot \\ (9) \quad &\cdot \frac{I_1 \omega_1}{\omega_1 + K\omega_2} \cdot \sin(\omega_1 + K\omega_2)t] \end{aligned}$$

in quanto essendo la serie di funzioni continue talmente convergenti in $[0, t]$ è lecita l'integrazione per serie. Questa espressione indica che è

come se avessimo la somma di molte modulanti di fase con frequenza $\omega_1 + K\omega_2$ e ampiezza

$$\frac{I_1}{K} J_K(I_2) \cdot I_1 \frac{\omega_1}{\omega_1 + K\omega_2}$$

Nel caso precedente della modulazione di fase procedendo analogamente nell'analisi risulta

$$\begin{aligned} \phi(t) &= \omega_c t + I_1 \sum_{K=1}^M J_K(I_2) \cdot I_1 \cdot \sin(\omega_1 + K\omega_2)t \\ (10) \quad &= \omega_c t + \sum_{K=1}^M J_K(I_2) \cdot I_1 \cdot \sin(\omega_1 + K\omega_2)t \end{aligned}$$

E' come se si avessero le stesse modulanti di prima ma con ampiezza

$$\frac{I_1}{K} J_K(I_2) \cdot I_1$$

che non dipende dalla frequenza. Quindi mentre nella modulazione di fase le modulanti hanno ampiezze simmetriche attorno ad ω_1 , in quella di frequenza esse sono disimmetriche. Le ampiezze risultano maggiori per $-\frac{2\omega_1}{\omega_2} < K < 0$, per gli altri

valori sono inferiori. L'energia cioè tende a concentrarsi attorno alla portante. Questo effetto può essere visto confrontando lo spettro di Fig. 6 prodotto da due modulatori di fase in serie, con quello di fig. 7 prodotto da due modulatori di frequenza in serie. Gli indici di modulazione sono uguali e il rapporto $N_1/N_2 = 8/5$.

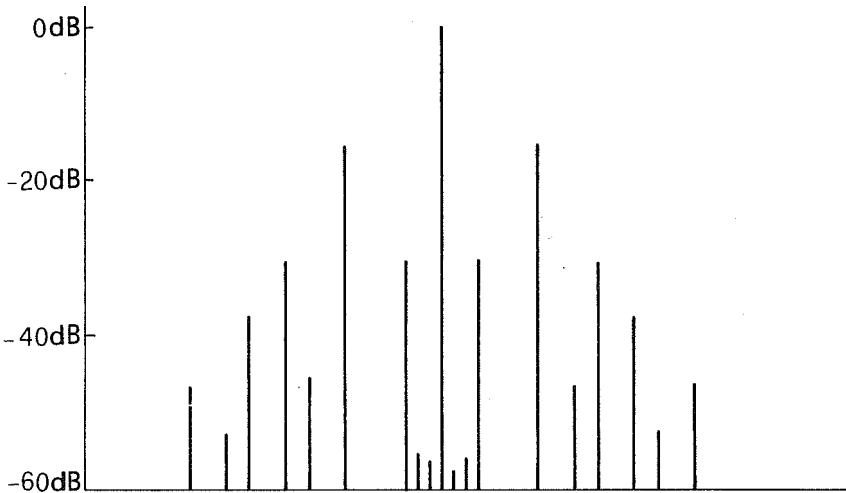
Se $\omega_1 \gg \omega_2$ le due espressioni tendono a coincidere come può essere visto confrontando la Fig. 1, spettro prodotto con due modulatori di fase, con quello di Fig. 8, due modulatori di frequenza. In questo caso $N_1/N_2 = 8/1$. Come si può notare essi sono praticamente coincidenti.

In pratica le modulanti significative sono quelle con $-M < K < M$ dove $M = I_2$. E' possibile quindi sviluppare ancora il segnale prodotto dalla modulazione di frequenza con le funzioni di Bessel

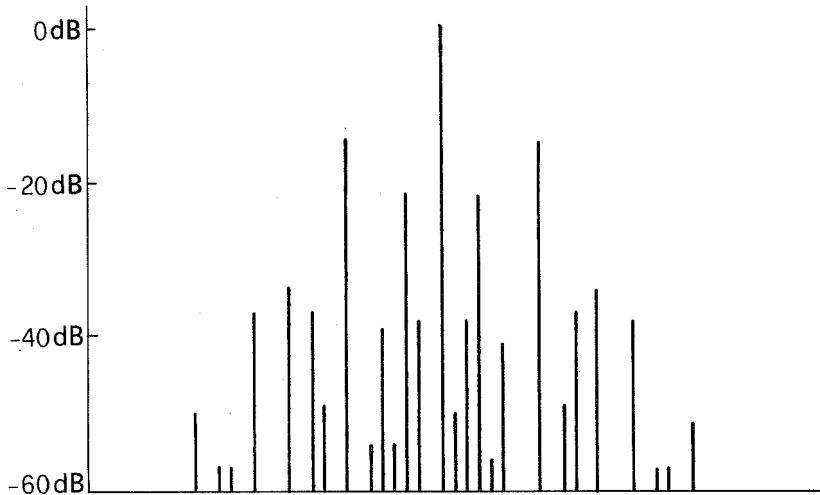
$$\begin{aligned} \bar{s}(t) &= \sin(\bar{\phi}(t)) = \\ &= \sum_{K=-M}^M \dots \sum_{K_0}^M \dots \sum_{K_M}^M \frac{\Pi_i J_{K_i}}{M!} [I_1 \frac{\omega}{\omega_1 + i\omega_2} \\ &\quad \cdot J_i(I_2)] \cdot \sin(\omega_c t + \sum_{i=1}^M K_i (\omega_1 + i\omega_2)t) \end{aligned}$$

L'espressione finale è piuttosto complicata. Gli spettri che risultano nei due casi hanno la stessa struttura con diverse ampiezze delle singole componenti, che risultano meno simmetriche nella modulazione di frequenza.

A questo punto è possibile esaminare e risolvere il problema incontrato da Kendall /5/. Egli nota va che spesso le due modulanti in serie producevano una componente a 0Hz, che sommandosi alla portante produce degli spostamenti casuali della frequenza della portante, rovinando così completamente i rapporti e quindi le caratteristiche armoniche del suono prodotto. Egli eliminava questo inconveniente inserendo un filtro notch all'uscita del primo modulatore per eliminare la componente a 0Hz.



"Fig. 6 Spettro prodotto da due modulatori di fase in serie (N1/N2 = 8/5)."



"Fig. 7 Spettro prodotto da due modulatori di frequenza in serie (N1/N2 = 8/5)."

Se ora esaminiamo la pulsazione istantanea della portante nella modulazione di frequenza (8) si osserva che un termine costante, prodotto dalle modulazioni si ha se c'è un K tale che $\omega_1 + K\omega_2 = 0$.

Questo termine costante vale

$$I_1 \omega_1 J(I_2) \cdot \cos(0) = I_1 \omega_1 J(I_2)$$

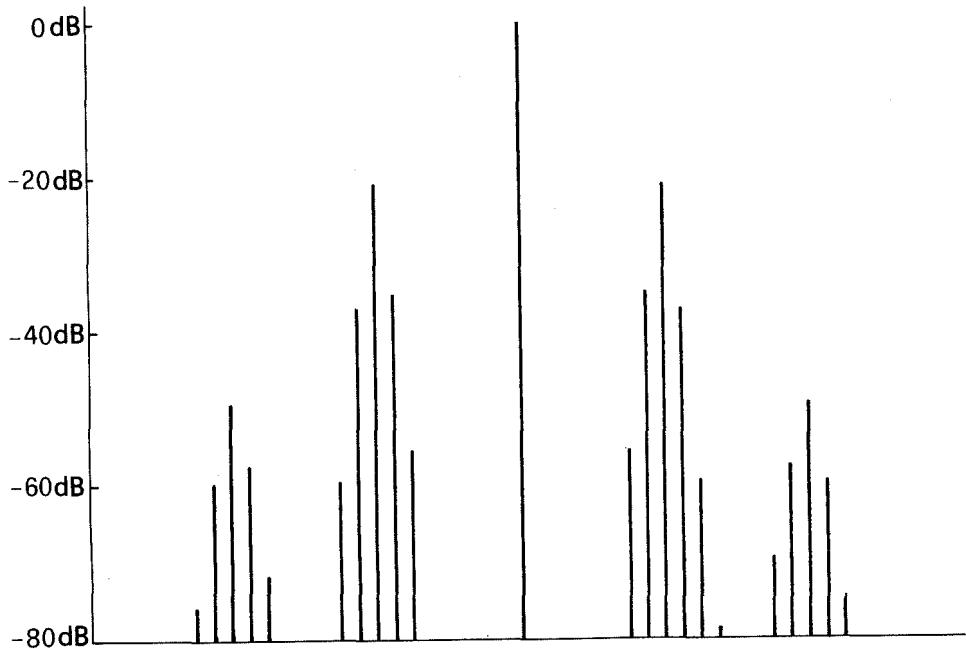
e come si vede dipende dai due indici di modulazione. Questo fatto quindi si verifica solo se ω_1 è multiplo di ω_2 cioè $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{m}{n}$ e in quanto le modulanti equivalenti in (8) sono di tipo coseno. Si può quindi ovviare facilmente a questo problema ponendo un seno nella tabella del primo modulato-

re mentre il secondo modulatore resta di tipo seno. Allora le modulanti sono tutte di tipo seno e essendo $\sin(0) = 0$, il termine costante è nullo.

Questo problema non si presenta nella modulazione di fase in quanto da (10) risulta

$$\omega(t) = \frac{d\phi(t)}{dt} = \omega_c + \sum_{k=1}^{\infty} K_k J(I_2) \cdot I_1 \cdot (\omega_1 + K\omega_2) \cdot \cos(\omega_1 + K\omega_2)t$$

e si vede che l'unico termine nella sommatoria che può essere costante nel tempo quando $\omega_1 + K\omega_2 = 0$ risulta di ampiezza nulla in quanto proprio moltiplicato per $\omega_1 + K\omega_2$.



"Fig. 8 Spettro prodotto da due modulatori di frequenza in serie ($N_1/N_2 = 8/1$)."

Il problema delle fasi iniziali delle varie modulanti è piuttosto complicato e tranne casi particolari non molto importante.

Infatti nella modulazione di fase se le fasi iniziali rispetto al seno della portante e delle modulanti sono sfasate rispettivamente di α, β e γ , tutte le componenti spettrali restano inalterate in frequenza ed ampiezza; cambia solo la fase delle parziali risultanti rispetto il seno che, per la componente individuata dagli indici K_1 e K_2 , vale $\delta = \alpha + K_1 \beta + K_2 \gamma$. Questa fase ha importanza solo nel fare la somma tra componenti a frequenza positiva e negativa coincidenti.

Anche nella modulazione di frequenza si ha un cambiamento delle fasi reciproche delle parziali risultanti, che dipende oltre che dalle fasi iniziali, dagli indici di modulazione.

6. CONFRONTO FRA IL NUMERO DI OPERAZIONI.

Confrontiamo ora il numero di operazioni elementari / 8 / necessarie nell'implementazione con quello degli altri tipi di modulazione.

Per le modulazioni di fase o di frequenza in serie sono necessari 5 addizioni, 2 moltiplicazioni e 3 ricerche in tabella. Nella implementazione della modulazione di fase con gli oscillatori (Fig. 4) è necessario un moltiplicatore in più se $I_1 \neq 1$.

Anche la modulazione con la somma di due sinusoidi (sia di fase che di frequenza) richiede lo stesso numero di operazioni 5 addizioni, 2 moltiplicatori e 3 tabelle.

Nelle varie implementazioni cambia ovviamente l'or-

ne delle varie operazioni per cui nella realizzazione hardware con pipeline alcune possono essere più efficaci di altre.

La modulazione di fase o di frequenza semplice richiede 3 addizionatori, 1 moltiplicatore e 2 tabellule.

L'uso di una modulante e di due portanti invece richiede 6 addizionatori, 2 moltiplicatori e 3 tabellule è cioè richiesto un addizionatore supplementare. Ne risulta però una maggiore libertà nella costruzione dello spettro. Per ogni portante aggiunta sono richiesti 3 addizionatori, 1 moltiplicatore e 1 tabella.

L'uso più sofisticato richiede che l'indice di modulazione per ogni portante possa essere diverso. E' necessaria pertanto una moltiplicazione in più.

7. CONCLUSIONI

E' stata analizzata la modulazione di fase e di frequenza con modulante modulata.

Questa tecnica risulta stimolante in quanto potendo lavorare con tre frequenze f_c , f_1 e f_2 si possono stabilire relazioni armoniche tra le componenti più varie che con la modulazione di frequenza semplice. Inoltre avendo a disposizione due indici di modulazione si possono realizzare molte sottili differenze nel tipo di attacco e nella evoluzione dinamica. La banda dello spettro non è più bruscamente limitata e l'ampiezza delle parziali non scende più rapidamente a zero, ma decresce più lentamente in modo simile a quanto avviene nei suoni degli strumenti musicali. Inoltre se i rapporti

ti vengono leggermente perturbati si creano interessanti battimenti a diverse periodicità tra le componenti, contribuendo alla fluttuazione spettrale che è un parametro fondamentale del timbro.

Queste proprietà sono condivise anche dalla modulazione con la somma di due sinusoidi, che però ha uno spettro più regolare.

Quello però che è veramente importante in questa tecnica è l'esistenza di un algoritmo, proposto da Justice / 9 /, che consente l'analisi di un segnale qualsiasi secondo questo modello e di ricavare la frequenza e l'andamento dell'indice di due o più modulatori sinusoidali da fase in serie. Non esiste invece un algoritmo simile per gli altri tipi di modulazione di fase o frequenza. Ciò significa che in questo caso è possibile riprodurre fedelmente qualsiasi suono o di ricevere i parametri senza dover procedere per tentativi, come si fa normalmente con la modulazione di frequenza.

BIBLIOGRAFIA

- / 1 / G. DE POLI "A Tutorial on Digital Sound Synthesis Techniques" Computer Music Journal vol. 7 n. 4 (1983).
- / 2 / J.M. CROWNING "The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation". Journal of the Audio Engineering Society, vol. 21 n. 7 pag. 526-534. (1973)
- / 3 / M. LE BRUN "A Derivation of the Spectrum of FM with Complex Modulating Wave" Computer Music Journal vol. 1 n. 4 pag. 51-52 (1977).
- / 4 / B. SCHOTTSLAEDT "The Simulation of Natural Instrument Tones Using Frequency Modulation with a Complex Modulation Wave" Computer Music Journal, vol. 1 n. 4, pag. 46-50.
- / 5 / G. S. KENDALL "Composing from a Geometric Model: Five-Leaf Rose" Computer Music Journal vol. 5 n. 4 pag. 66-73 (1981).
- / 6 / J.M. CROWNING "Computer Synthesis of the Singing Voice" Sound Generations in Winds Strings Computers, KMA:s Skriftserie vol. 29 pag. 4-13 (1981).
- / 7 / B. TRUAX "Organizational Techniques for C:M Ratios in Frequency Modulation". Computer Music Journal vol. 1 n. 4 pag. 39-45 (1977).
- / 8 / M. SANTOIJEMA "Formal Representation of Basic Blocks for Sound Synthesis, Proc. International Computer Music Conference" (1982)
- / 9 / J.M. JUSTICE "Analytic Signal Processing in Music Computation" IEEE Transaction on Acoustics, Speech and Signal Processing ASSP vol. 7 n. 6, pag. 670-684 (1979).

SINTESI DELLA VOCE CON IL PROCESSORE DIGITALE 41

L. FRIGO, S. SAPIR, T. SINIGAGLIA

Centro di Sonologia Computazionale - Università di Padova -

Con questo lavoro si è voluto realizzare un sistema di sintesi della voce utilizzando il processore 41 costruito da G. Di Giugno presso l'IRCAM di Parigi. L'analisi del segnale vocale successivamente sintetizzato è stata condotta utilizzando alcuni programmi già disponibili, i quali si basano sulla tecnica della Predizione Lineare. Il problema principale che si è dovuto affrontare è stato quello di simulare una sintesi a 8KHz con il processore 41, la cui frequenza è 16KHz.

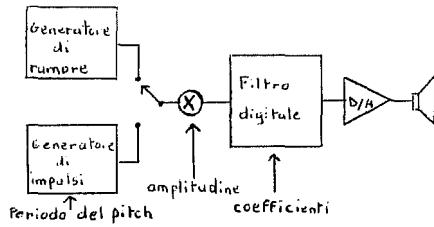
1. ANALISI E SINTESI DEL SEGNALE VOCALE

E' molto difficile costruire un modello accurato dell'apparato di fonazione dell'uomo, in quanto esso presenta caratteristiche di continua variabilità nel tempo, in dipendenza della particolare sequenza di suoni che vengono prodotti.

Tuttavia, a causa dell'inerzia degli organi articolatori coinvolti, la velocità di variazione del tratto vocale è lenta, per cui si può ritenere che la sua configurazione resti all'incirca fissa per intervalli di tempo dell'ordine di 10-20 ms (ipotesi di quasi-stazionarietà).

Il segnale vocale, quindi, può essere suddiviso in tanti piccoli frammenti ("frames"), ad ognuno dei quali corrisponde una certa configurazione stazionaria dell'apparato di fonazione.

Un modello semplificato di tale configurazione può essere quello mostrato in Fig. 1-1, un filtro digitale a soli poli (detto filtro di sintesi) viene eccitato da un segnale opportuno e fornisce in uscita il segnale vocale.



"Fig. 1-1 Modello semplificato del tratto vocale"

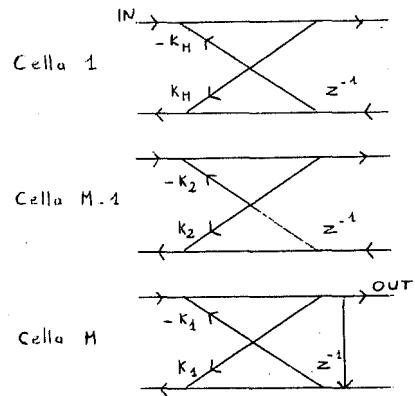
Se si vuole ottenere un suono vocalizzato (ossia quasi periodico), allora il segnale di eccitazione è una sequenza di impulsi periodici, con periodo pari a quello della frequenza fondamentale del suono (periodo di pitch); se, invece, si vuole ottenere un suono non vocalizzato (ossia aperiodico), allora il segnale di eccitazione è aleatorio con spettro bianco.

Quindi la struttura di sintesi è completamente definita da un ristretto numero di parametri:

- * l'indice di vocalizzazione (suono vocalizzato/non vocalizzato)
- * il periodo di pitch (se il suono è vocalizzato)
- * l'ampiezza del segnale
- * gli N coefficienti del filtro (dove N è l'ordine del filtro)

L'ordine N del filtro di sintesi va fissato in base alla qualità del segnale che si vuole ottenere; un valore standard è 10±12 con una frequenza di campionamento di 8±10KHz.

Possono essere costruite innumerevoli realizzazioni del filtro di sintesi; la struttura che è stata adottata è quella del traliccio (vedi Fig. 1-2), la quale corrisponde ad una descrizione del tratto vocale in termini di tubo acustico a sezione non uniforme.



"Fig. 1-2 Struttura a traliccio del filtro di sintesi"

Il numero di celle che formano il traliccio è pari all'ordine del filtro; ciascuna di esse è formata da due sommatore, da due moltiplicatori (con lo stesso coefficiente moltiplicativo, ma cambiato di segno) e da un elemento di ritardo.

I coefficienti moltiplicativi utilizzati sono det-

ti coefficienti di riflessione e godono tutti della proprietà di essere strettamente minori di 1; essi permettono di definire in modo completo il filtro di sintesi.

Come si può notare dalla Fig. 1-2, tale tipo di realizzazione risulta essere modulare e di facile implementazione.

Sulla base di quanto detto, un frame di segnale vocale può essere sintetizzato qualora siano nati gli $N+3$ parametri specificati sopra.

Quindi, se si vuole riprodurre un certo segnale vocale, bisognerà innanzitutto suddividerlo in frames ed estrarre per ognuno di essi i corrispondenti parametri (fase di analisi); successivamente questi verranno progressivamente inviati alla struttura di sintesi (fase di sintesi).

I programmi da noi realizzati con l'aiuto di altre persone /1,4,5/ permettono di effettuare l'analisi di un qualsiasi segnale vocale (suono elementare, parola, oppure frase), usando il metodo della Pre_dizione Lineare.

Ciascun campione del segnale vocale viene "stimato" eseguendo una combinazione lineare degli N campioni precedenti; minimizzando l'errore quadratico di tale stima, si ottiene un sistema di equazioni, la cui risoluzione fornisce gli N coefficienti di riflessione.

All'utente è lasciata la facoltà di definire tutte le caratteristiche con cui l'analisi deve essere condotta; in particolare egli può scegliere:

- la frequenza di campionamento (8, o 10KHz)
- il tipo di analisi (sincrona, o asincrona con il pitch)
- la lunghezza della finestra di segnale usata per l'estrazione del pitch
- il tipo e la lunghezza della finestra usata per l'estrazione dei coefficienti di riflessione
- il passo di avanzamento di queste finestre (ossia la durata del frame)
- l'ordine del filtro predittore (pari all'ordine del filtro di sintesi).

In generale si ottengono risultati migliori se si effettua un filtraggio preliminare di tipo uto sul segnale che deve essere analizzato (operazione di preeffasi); l'utente può scegliere se effettuare o no questo filtraggio e in quale misura (fattore di preeffasi).

Una volta definite le modalità di analisi, è possibile seguire frame per frame lo svolgimento delle varie operazioni, visualizzando, se desiderato, le finestre di segnale, il loro spettro, la risposta in frequenza del filtro di sintesi, i risultati numerici ottenuti (Fig. 1-3 e Fig. 1-4).

Su richiesta dell'utente i dati e i grafici possono essere stampati o visualizzati su altri dispositivi di uscita grafica (plotter o videografico).

In tal modo è possibile effettuare l'analisi di un segnale vocale secondo le modalità volute e seguirne dettagliatamente lo svolgimento.

Sono stati sviluppati, poi, altri programmi, che permettono di visualizzare e correggere i risultati

ottenuti nella fase di analisi.

Questo permette all'utente di verificare che essi siano corretti, di effettuarvi eventuali correzioni e, comunque, di modificarli a suo piacimento.

Prima di effettuare queste operazioni è possibile visualizzare la risposta in frequenza del filtro di sintesi corrispondente a ciascun frame.

Se richiesto, possono essere forniti anche gli andamenti complessivi e sovrapposti della potenza del segnale analizzato e del valore di pitch estato.

Questo può servire per una prima rudimentale verifica sulla correttezza dei valori di pitch estratti; infatti i suoni vocalizzati hanno in generale potenza elevata, mentre quelli non vocalizzati la hanno bassa.

2. SINTESI CON IL SISTEMA 4i

2.1. Caratteristiche generali del sistema 4i

Il processore numerico 4i permette di realizzare la sintesi vocale in tempo reale. Esso è comandato, per quanto riguarda la realizzazione dell'algoritmo di sintesi e l'aggiornamento dei parametri che lo caratterizzano, da un elaboratore PDP 11/34. All'interno del 4i è disponibile il seguente insieme di moduli di base:

- 32 generatori di funzione a tre ingressi (Fig. 2-1a)
- 32 generatori di funzione a due ingressi (Fig. 2-1b)
- 96 moltiplicatori/sommatori (Fig. 2-1c)
- 32 unità logiche (Fig. 2-1d)
- 32 timer

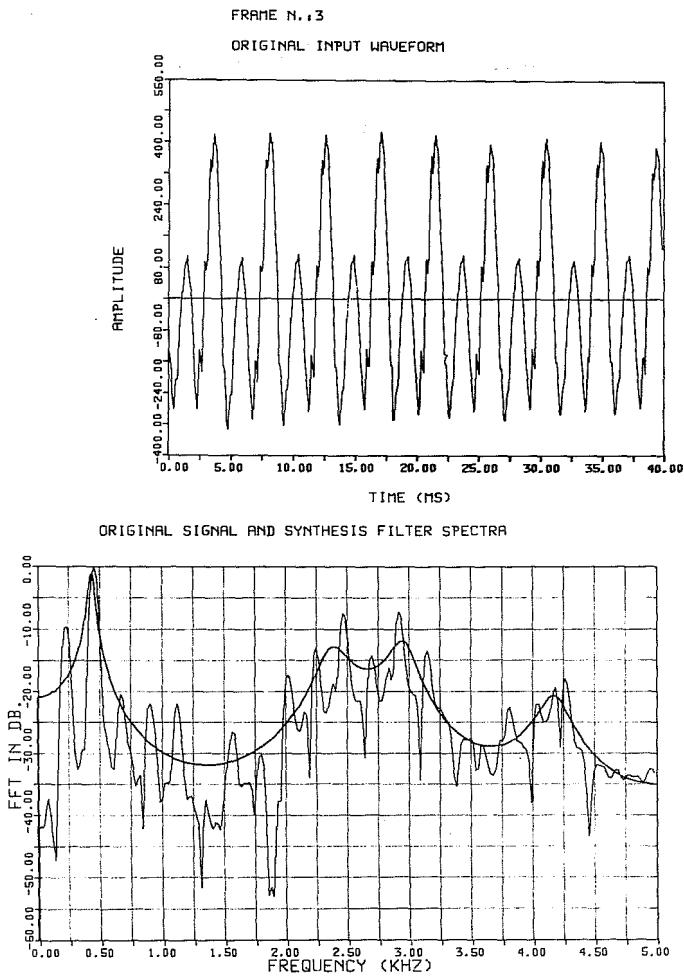
Il processore 4i funziona ad una frequenza di campionamento di 16KHz: tutti i moduli descritti precedentemente possono essere contemporaneamente utilizzati nell'elaborazione di ogni singolo campione. Per quanto riguarda l'interconnessione tra i moduli base utilizzati nell'algoritmo di sintesi è stato utilizzato un apposito linguaggio di comandi, proprio del sistema 4i. Il controllo del processore e l'aggiornamento dei dati che permettono di definire il filtro di sintesi e la sua eccitazione, sono stati realizzati con un programma scritto nel linguaggio FORTRAN IV.

2.2. Problemi relativi all'interfaccia analisi-sintesi.

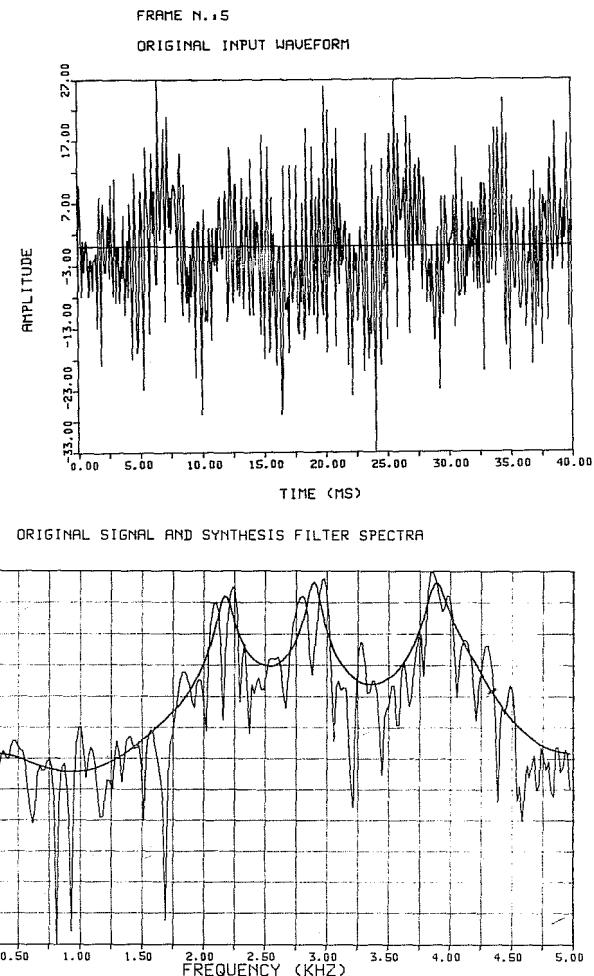
Dato che la larghezza di banda di un segnale vocale è approssimativamente limitata a 4-5KHz, la sua acquisizione è in genere fatta con una frequenza di campionamento pari ad 8-10 KHz. Questi valori si discostano molto dal clock interno del sistema 4i, la cui frequenza è pari a 16KHz.

Supponiamo, per ora, di avere a disposizione un sintetizzatore la cui frequenza di campionamento sia $F_c=8\text{KHz}$ e ammettiamo di generare, a partire da un certo insieme di parametri prodotto dai programmi di analisi, il segnale $y_{\text{c}}(nT)$, $T=1/F_c$ riportato in Fig. 2-2a. Il suo andamento spettrale è presentato in Fig. 2-2b.

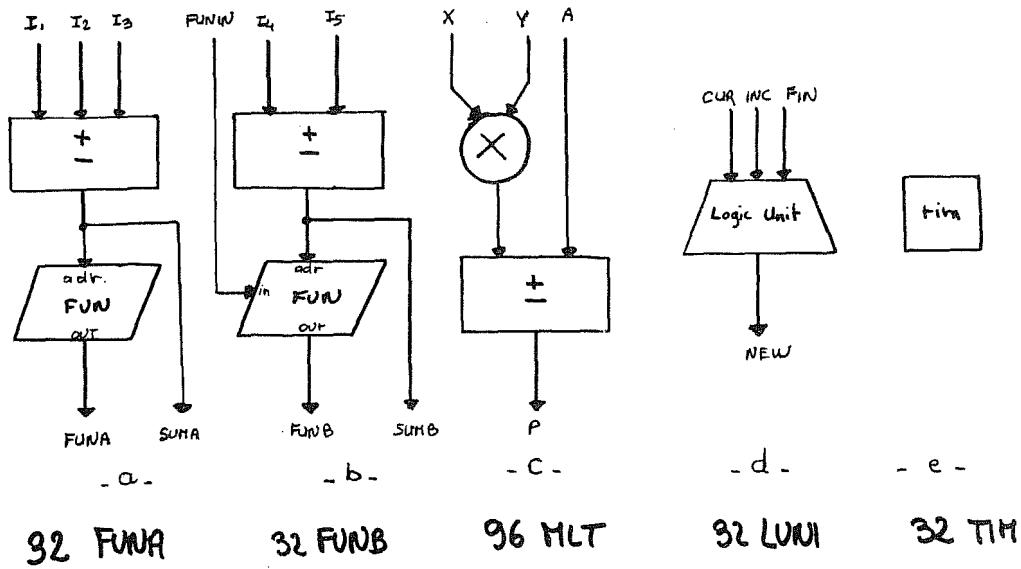
Se, a parità di altre condizioni, si cambia la fre



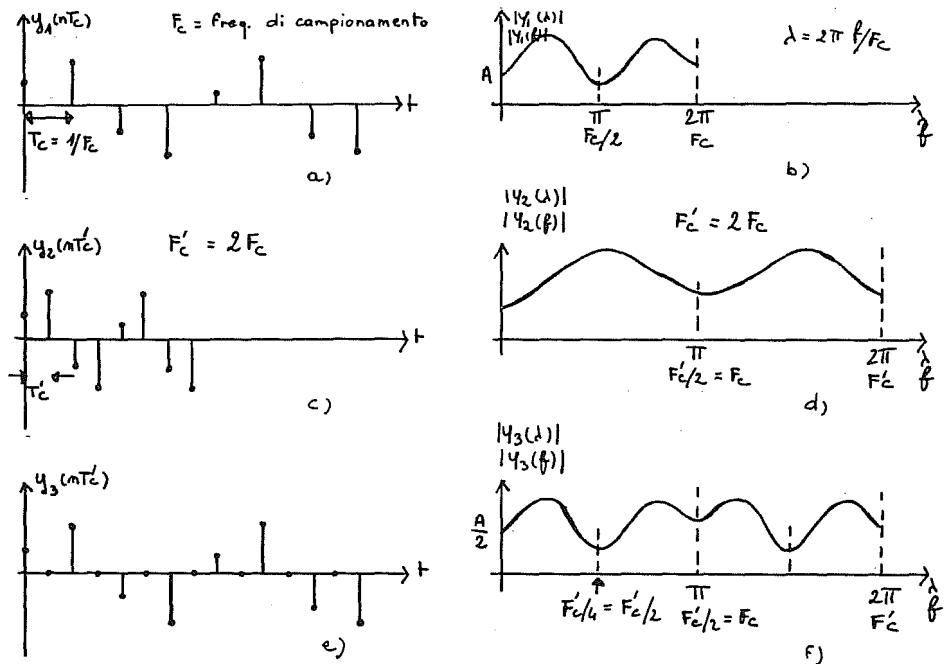
"Fig. 1-3 Frame di una /e/ e spettro corrispondente."



"Fig. 1-4 Frame di una /f/ e spettro corrispondente."



"Fig. 2-1 Moduli di base del processore 4i."



"Fig. 2-2 influenza della frequenza di campionamento sul segnale sintetizzato".

Sintesi della voce con il processore digitale 4i

quenza di campionamento portandola a $F'_c = 2F_c$, si ottiene il segnale $y_2(nT'_c)$, $T'_c = 1/F'_c$ di Fig. 2-2c. I singoli campioni generati sono gli stessi di prima, ma diverso è il periodo di campionamento. Anche il contenuto spettrale di $y_2(nT'_c)$ è diverso. Infatti :

$$\begin{aligned} Y_2(f) &\stackrel{\Delta}{=} Y_2(z) \Big|_{z=e^{j2\pi f/F'_c}} = \\ &= T'_c \sum_n y_2(nT'_c) z^{-n} \Big|_{z=e^{j2\pi f/F'_c}} = \\ &= \frac{T'_c}{T'_c} \cdot T_c \sum_n y_1(nT'_c) z^{-n} \Big|_{z=e^{j2\pi f/2F_c}} = \frac{T'_c}{T_c} Y_1(f) \end{aligned}$$

Questo risultato porta alla Fig. 2-2d. Da essa si nota che il segnale $y_2(nT'_c)$ presenta caratteristiche fisiche assai diverse dal precedente. A partire da $y_1(nT_c)$, definiamo il segnale

$$\begin{aligned} (2.1) \quad y_3(2nT'_c) &= y_1(nT_c) \\ y_3((2n+1)T'_c) &= 0 \end{aligned}$$

il cui andamento è riportato in Fig. 2-2e. La sua trasformata Zeta è, dato che i campioni dispari sono nulli:

$$Y_3(z) = T'_c \sum_{n=0}^{+\infty} y_3(2nT'_c) z^{-n}$$

Infine, dalla (2.1)

$$\begin{aligned} (2.2) \quad Y_3(z) &= \frac{T'_c}{T_c} \cdot T_c \sum_{n=0}^{+\infty} y_1(nT_c) z^{-2n} = \\ &= \frac{T'_c}{T_c} Y_1(z^2) \quad \text{con } z^{-1} = T'_c \end{aligned}$$

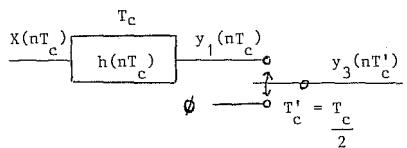
Allora

$$\begin{aligned} Y_3(f) &\stackrel{\Delta}{=} Y_3(z) \Big|_{z=e^{j2\pi f/F'_c}} = \\ &= \frac{T'_c}{T_c} Y_1(z^2) \Big|_{z=e^{j2\pi f/F'_c}} = \\ &= \frac{T'_c}{T_c} Y_1(z) \Big|_{z=(e^{j2\pi f/F'_c})^2} = \\ &= \frac{T'_c}{T_c} Y_1(z) \Big|_{z=e^{j2\pi f/F_c}} = \frac{T'_c}{T_c} Y_1(f) \end{aligned}$$

Questa relazione è graficamente illustrata in Fig. 2-2f.

La (2.1) e l'impiego di un filtro passa basso con frequenza di taglio pari F'_c consentono quindi di realizzare un sistema di sintesi con frequenza di campionamento $F'_c = 2F_c$, a partire da parametri ricavati da una analisi di segnale acquisito con frequenza F . A questo proposito si noti che un sistema di acquisizione dati funzionante a una certa frequenza F , è assai meno costoso di un sistema capace di funzionare a una frequenza doppia. Le relazioni (2.1), (2.2) suggeriscono due diverse realizzazioni.

La (2.1) corrisponde, infatti, al sistema



Questa soluzione è però difficilmente realizzabile nel processore 4i in quanto, dato che la frequenza di funzionamento è fissa e pari a $F'_c = \frac{1}{T'_c}$ una volta implementato il filtro, si dovrebbe prevedere un dispositivo che permetta l'aggiornamento del filtro stesso solo ogni due periodi di clock T'_c .

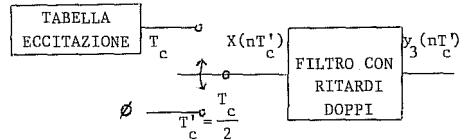
La relazione (2.2) corrisponde a scrivere, dato che $\frac{T'_c}{T_c} = \frac{1}{2}$,

$$(2.3) \quad Y_3(z) = \frac{1}{2} Y_1(z^2) = \frac{1}{2} H(z^2) X(z^2)$$

dove $H(z^2)$ corrisponde al filtro di sintesi realizzato utilizzando ritardi doppi $[2T'_c]$

invece di ritardi elementari.

La relazione (2.3) corrisponde al sistema

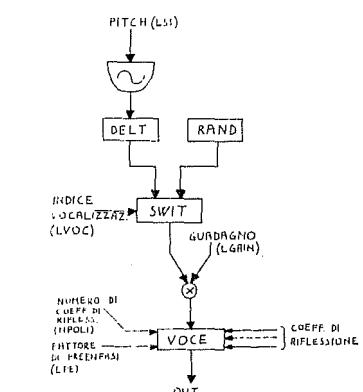


che è stato quello effettivamente realizzato.

Il fattore $\frac{T'_c}{T_c} = \frac{1}{2}$ non dà fastidio in quanto è sufficiente agire sul segnale di uscita con un potenziometro.

2.3. Realizzazione dell'algoritmo di sintesi.

L'algoritmo di sintesi realizzato nel processore 4i è descritto in figura 2.3



"Fig. 2.3 Struttura dello strumento di sintesi"

```

JOB/RT11
R RESET
R WRF 4K
SIN.FUN
1
R 4I
COMM16
strumento LPC lavora col programma LPC4I
  locazione ordine predittore      :10
  coef.di riflessione            :11..24
  fattore di preefasi             :25
  durata frame                   :26
  pitch in sample increment     :27
  output di DELT(sen.impulsi)    :34
  indice di vocalizzazione       :28
  guadagno del filtro VOCE       :29
  output RAND                     :100
  output SWITCH                   :31
  input filtro VOCE o output molt.:32
  output del seno di OSCA        :35
  reazione dell'OSCA              :36
  decremento del contatore LUNI   :37

```

WRIT10	
0	14
OSCA	27,4,36,36,1,35
DELT	35,34
RAND	100
SWIT	34, 100,28,31
MULT1	31,29,32,4
VOCE	10,32,33,11,25
LUNI	26,37,4,26
COM	l'ordine del filtro è fissato a 12 poli
WRIT100	
1	3
WRIT37	177777 0
CHAN1	32
CHAN2	33
CHAN3	34
CHAN4	35
SYON	
EOJ	

TABELLA 1

Esso è costruibile tramite i comandi illustrati in Tabella 1.

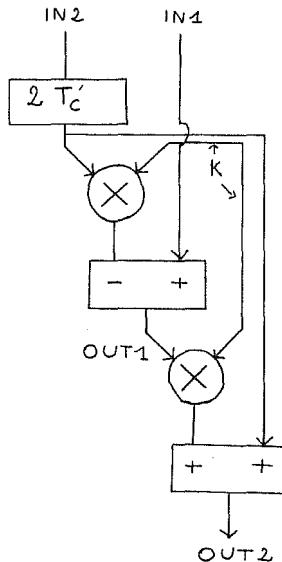
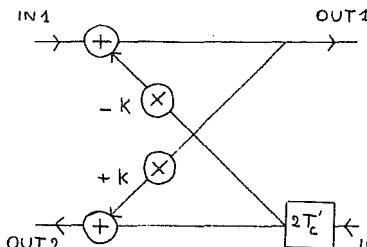
Vediamo ora brevemente la struttura e la funzione di ognuno dei singoli moduli della figura 2.3.

- VOCE : realizza il filtro di sintesi mediante la struttura a traliccio presentata nel capitolo 1. Come visto esso è composto da una cascata di celle elementari (Fig.2-4a) ciascuna delle quali necessita di due moltiplicatori/sommatori e di un generatore di funzione per realizzare un modulo di ritardo. Il ritardo doppio ($2T_c'$) consente, come detto nel paragrafo 2.2, l'adattamento della

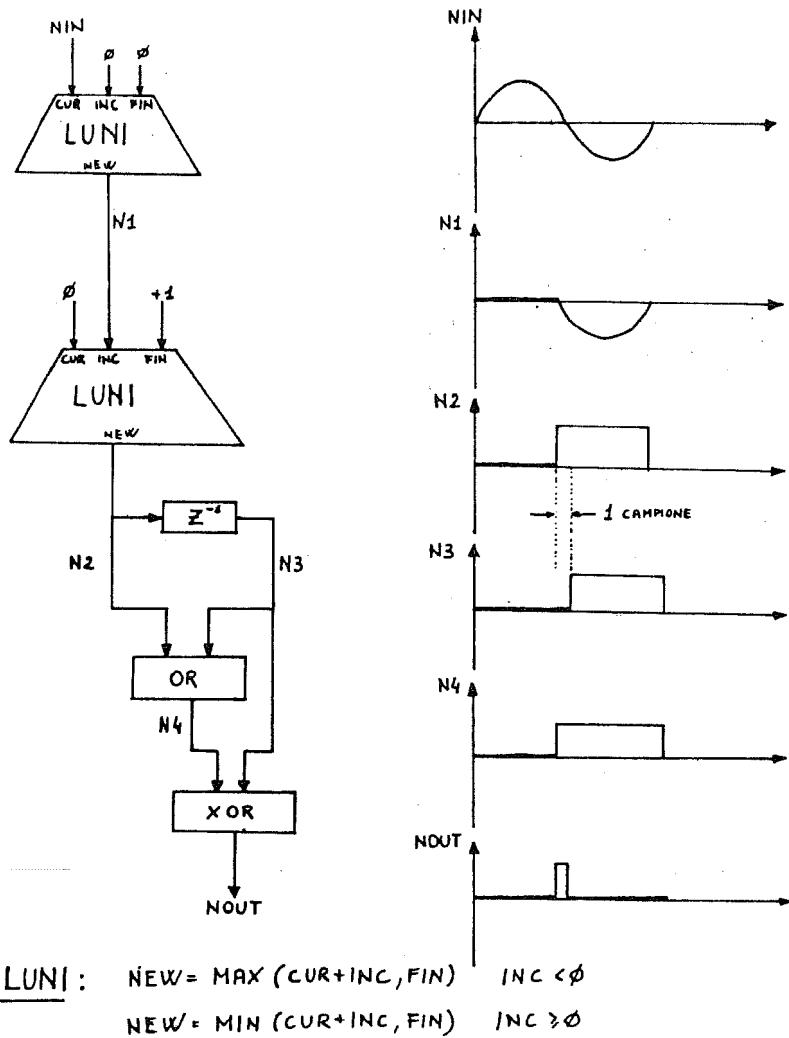
frequenza di campionamento del processore 4i (16KHz) con quella di acquisizione del segnale vocale (8KHz).

In figura 2.4b è presentata la realizzazione, nel processore 4i, di una cella elementare.

Il modulo VOCE comprende inoltre un filtro passabasso del primo ordine che compensa l'eventuale fattore di preefasi introdotto in fase di analisi.



"Fig. 2.4 realizzazione di una cella nel processore 4i"



"Fig. 2.5 Struttura di DELT"

- DELT : è un generatore di impulsi sincronizzato su un segnale periodico (vedere Fig. 2.5) le due unità logiche LUNI consentono di trasformare il segnale periodico in un'onda quadra. Successivamente due generatori di funzione (FUNA) realizzano il modulo di ritardo e le funzioni logiche OR e XOR le quali consentono di estrarre l'impulso desiderato.

- SWIT : è un deviatore che permette di selezionare, a seconda del valore assunto della locazione di memoria LVOC, uno dei suoi due ingressi (Fig. 2.6). Se $(LVOC) = 7777777_8$, l'ingresso selezionato è INφ, corrispondente ad una eccitazione rumo

rosa. Se $(LVOC) = \emptyset$, il segnale selezionato è IN1 (sequenza di impulsi ricavata da DELT).

- RAND : è un generatore di rumore bianco (Fig. 2.7) ottenuto con un generatore di funzione FUNA nel quale l'uscita è utilizzata come ingresso (al passo successivo). I valori di uscita aleatori sono ottenuti per "overflow".

2.4. Procedura per effettuare la sintesi.
 E' necessario adottare le caratteristiche del file risultati dall'analisi in modo da renderlo compatibile con il processore 4i.

Siccome si presuppone che il segnale vocale sia

stato campionato a 8KHz, mentre il processore ha una frequenza di funzionamento di 16KHz, è necessario considerare un valore di pitch pari a due volte quello ottenuto dai programmi di analisi. Lo stesso dicasi per la durata dei vari frames. Se il segnale è vocalizzato, ossia se il pitch ha un valore diverso da zero, si fa in maniera che la durata del frame ad esso relativo, sia un multiplo del periodo del pitch stesso e ciò per evitare che si verifichino brusche discontinuità nel passaggio tra un frame e il successivo.

Bisogna però tenere presente che, affinché la durata globale della frase o del segmento da sintetizzare non cambi, è necessario calcolare l'"overlay" sul frame successivo, la cui durata dipenderà quindi dal proprio passo di avanzamento, dal proprio valore di pitch e dall'overlay del frame precedente. Se il segnale è non vocalizzato la durata sarà pari al passo di avanzamento meno l'overlay 'ereditato' del frame precedente e l'overlay attuale sarà nullo. Si deve poi calcolare il sampling increment necessario per generare a frequenza opportuna di impulsi di eccitazione.

La parte intera del suo valore verrà scritta sui 16 bit più significativi della locazione LSI, mentre gli 8 bit più significativi della sua parte frazionaria verranno scritti sugli 8 bit meno significativi della stessa locazione. Nel caso di segnale vocalizzato, verrà scritto 1 su tutti i bit della locazione L OC; se il segnale non è vocalizzato (sampling increment nullo) verrà scritto 0 su tutti i bit della stessa locazione.

La durata, è espressa in campioni, verrà scritta sui 16 bit più significativi della locazione LDUR.

Gli M coefficienti di riflessione (moltiplicati per 32768) verranno scritti sui 16 bit più significativi delle locazioni 11, 12, ..., 11+M.

La scrittura dei coefficienti comincia con quella di minore importanza (K_1) e termina con quello di maggiore importanza (K_M); questo accorgimento permette di rendere meno brusche le variazioni del filtro di sintesi da un frame all'altro.

Infine il guadagno, eventualmente alzato, di un fattore correttivo specificato dall'utente, verrà scritto sui 16 bit più significativi della locazione LGAIN.

3. CONCLUSIONI

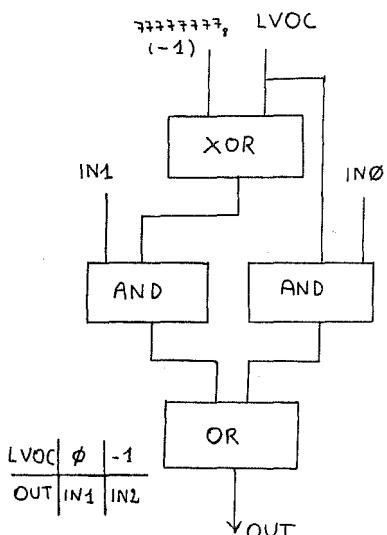
Lo strumento che è stato costruito, permette di sintetizzare una voce di alta qualità malgrado il suo campionamento effettivo di 8KHz. Inoltre, si presta molto bene ad effettuare delle trasformazioni del segnale vocale per scopi musicali.

Infatti, tutti i parametri che lo controllano possono essere modificati in tempo reale. Tale possibilità ha già consentito interessanti applicazioni musicali.

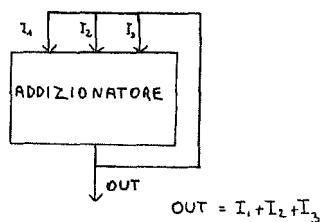
Si vuole infine ringraziare il prof. G.A.MIAN dell'Università di PADOVA per l'essenziale consulenza prestata.

BIBLIOGRAFIA

- / 1 / J.D.MARKEL, A.H. GRAY : Linear prediction of speech. Springer-Verlag, New York 1976.
- / 2 / B.S.ATAL, S.L.HANAUER : Speech analysis and synthesis by linear prediction of the speech wave.
- / 3 / J.D.MARKEL : The SIFT algorithm for fundamental frequency estimation. IEEE Trans. AU-20, pgg.367-377 (1972).
- / 4 / P. COSI, G. TRAINITO, G.A. MIAN : Procedere per l'analisi e la sintesi del segnale di predizione lineare. CNR-LADSEB 82/03, giugno 1982.
- / 5 / L. FRIGO, T. SINIGAGLIA : Procedure per la analisi e la sintesi del segnale vocale. Centro di sonologia computazionale - Padova (1983).
- / 6 / Documentazione sistema 4i. Centro di Sono-
logia Computazionale, Padova (1983).



"Fig.2-6 Struttura di SWIT."



"Fig.2-7 Struttura di RAND."

APPLICAZIONI MUSICALI DI UN SISTEMA PER L'ANALISI E LA SINTESI DELLA

VOCE

G.A. MIAN

Istituto di elettrotecnica e di elettronica - Università di Padova

G. TISATO

Centro di Sonologia Computazionale - Università di Padova

Questo lavoro descrive il sistema di analisi/sintesi della voce realizzato presso il Centro di Sonologia Computazionale dell'Università di Padova per scopi essenzialmente musicali.

Il sistema consente:

- *l'analisi di un segnale con la tecnica della predizione lineare e la visualizzazione dell'andamento dei parametri caratteristici;*
- *La codifica dei dati ricavati dall'analisi in un archivio e la loro manipolazione sia a livello dei singoli parametri sia a livello dell'andamento generalizzato;*
- *La possibilità di interpolazione timbrica fra voce e strumenti;*
- *L'utilizzo compositivo dell'archivio dei fonemi della lingua italiana codificato e accessibile da partitura;*
- *La possibilità di sintesi incrociata, con la sostituzione dell'eccitazione naturale della voce con un suono qualsiasi reale o sintetizzato.*

1. INTRODUZIONE

Quest'ultimo decennio ha visto uno sviluppo delle ricerche nel campo della voce che già ha dato risultati notevoli nel settore della telecomunicazioni e promette di dare risultati molto interessanti anche sotto il profilo musicale. Questo sviluppo è legato alla vera e propria rivoluzione indotta dagli elaboratori e dalle tecniche numeriche nel campo del trattamento dei segnali e del suono in particolare. In effetti, strumenti matematici e conoscenze di fisica e psicofisica che esistevano da decenni hanno trovato un supporto applicativo potente in problematiche notevolmente complesse come quelle sonore. Per quanto riguarda la voce si è ripetuto il fenomeno frequente, per cui tecniche nate per un certo scopo sono utilizzate con successo in campi totalmente differenti.

E' stato il caso della modulazione di frequenza che si è sviluppata nel campo delle telecomunicazioni per diventare poi una delle tecniche di sintesi musicale più in voga di questi ultimi anni. E' ora il caso delle tecniche di predizione lineare, impiegate inizialmente in campo geologico, che all'inizio degli anni settanta cominciarono ad essere utilizzate per l'analisi e la sintesi del segnale vocale. Simile applicazione doveva permettere la trasmissione della voce non direttamente attraverso il segnale audio, ma mediante i suoi parametri caratteristici codificati in termini di coefficienti di un filtro digitale variabile. Da un lato della linea di trasmissione si inviano i dati ricavati in tempo reale dall'analisi, e dall'altro lato si risintetizza la voce in base ai parametri ricevuti. La riduzione di dati consente di trasmettere una ventina di comunicazioni in un canale che ne supporterebbe solo una convenzionale.

2. MECCANISMO DI PRODUZIONE DELLA VOCE

Lasciando allo studio della letteratura sull'argomento l'eventuale approfondimento /1/, si metterà in risalto l'esistenza di una sostanziale analogia fra meccanismo di produzione del suono nella voce e negli strumenti. Nell'una come negli altri, una fonte di energia (muscolare, elettrica, magnetica, ecc.) mette in movimento un mezzo (fluido, meccanico, ecc.) che eccita un sistema vibrante (corde vocali, corde e ancì degli strumenti, lame e superfici metalliche, ecc.) Il suono emesso è sostanzialmente modificato dalle risonanze caratteristiche del sistema (dovute al tratto vocale o alla cassa degli strumenti, al tipo di materiali componenti, ecc.) con l'esaltazione di gruppi di parziali (armoniche e non-armoniche) e l'attenuazione di altre. E' l'insieme di queste parziali e la loro variazione nel tempo a determinare la sensazione di timbro e a dare un'impronta individuale a quel particolare strumento o voce. Tradizionalmente, sotto il concetto di timbro, si è riunito un complesso di caratteristiche difficilmente valutabile e controllabile, innanzitutto (in tempi storici) per mancanza di modelli di interpretazione e, più recentemente, per l'indisponibilità di strumenti efficaci nello studio di fenomeni con caratteristiche di grande variabilità. In effetti, i parametri timbrici variano non solo in strumenti dello stesso tipo e di caratteristiche costruttive identiche, ma variano anche da nota a nota lungo tutta la tessitura dello strumento stesso. Per passare da una nota ad un'altra, si deve forzatamente modificare la configurazione fisica dello strumento, allungando o accorciando il tubo di uno strumento a fiato, ad esempio, aprendo o chiudendo un foro ecc. Questo si traduce evidentemente anche in una modifica

della dimensione e posizione delle risonanze spettrali, e quindi della sensazione di timbro, anche se si conserva evidentemente una stretta "somiglianza" fra tutti i suoni emessi dallo strumento. E' problematico quindi individuare caratteristiche realmente invarianti nel tempo, se si esclude unicamente l'estensione spettrale massima delle componenti del suono, che risulta costante nel caso degli strumenti come della voce, e per cui l'ampiezza delle parziali più elevate diviene trascurabile al di sopra di una regione di frequenza ben individuabile.

Un progresso notevole è stato compiuto nella conoscenza dei fenomeni sonori e nel controllo dei parametri timbrici, con l'applicazione di procedimenti di analisi mediante elaboratore numerico, soprattutto relativamente al grado di precisione e di riproducibilità introdotte. La potenzialità di simili sistemi è indiscutibile e verificabile tangibilmente con la risintesi del suono. Non a caso, continuamente si parla di conoscenza e di controllo come di due processi separati, non coincidendo quasi mai il loro sviluppo quando si passi dal campo scientifico a quello musicale. In effetti, un ostacolo notevole per i compositori è costituito dal passaggio dai parametri fisici rilevati dagli attuali modelli di analisi ai parametri percepitivi e musicali su cui è fondata la loro esperienza. Un ulteriore ostacolo deriva loro dalla difficoltà di controllo di questi parametri ad un livello gerarchico soddisfacente. Un esempio per tutti può venire dalla sintesi additiva, basata sulla somma in serie di Fourier di sinusoidi di ampiezza voluta, che garantisce sì una ricostruzione fedele quanto si voglia di un suono analizzato, ma richiede l'estrazione dell'andamento temporale di ogni singola parziale sonora e la definizione quindi di una quantità enorme di dati "operativi", che mal si prestano ad essere interpretati e manipolati dal punto di vista musicale. Si può d'altra parte escludere l'utilizzo dei dati di analisi per una ricostruzione od imitazione del suono reale, perché musicalmente poco interessante. Il problema nasce quindi quando si vogliono alterare i dati di analisi, anche nei casi più banali di modifica dell'altezza o della durata del suono, dovendo forzatamente ricalcolare lo sviluppo di tutte le parziali. Le difficoltà crescono quando si volesse ricavare dall'analisi le modalità di variazione dei parametri legate ad una certa sensazione uditoria: si pensi ad esempio di dover stabilire la legge di variazione dell'ampiezza delle parziali con l'intensità ("pianissimo", "fortissimo", ecc.) oppure con la distanza della sorgente sonora (nota vicina suonata "pianissimo", nota lontana suonata "fortissimo"), fino ad arrivare ad un controllo delle parziali in base a definizioni astratte (suono brillante", "cupo", ecc.). Tutto questo senza affrontare ancora il nocciolo della questione che per il musicista resta pur sempre l'utilizzo compositivo di questi parametri.

3. LA PREDIZIONE LINEARE

Un modello di analisi e sintesi che consente un approccio più agevole alle problematiche dette, è quello basato sulla predizione lineare /2/, /3/, /4/. Come accennato in precedenza, il processo di produzione del segnale vocale può essere schematizzato con un modello lineare (tempo-invariante entro intervalli dell'ordine di 5 ± 20 msec) costituito da una sorgente di eccitazione, caratterizzata da un proprio contenuto spettrale, e da un sistema risonante che tiene conto degli effetti filtranti del tratto vocale e della radiazione alle labbra, e che altera dinamicamente le caratteristiche spettrali sudette per dare quel timbro o "colore" particolare.

La fase di analisi consiste dunque nell'identificazione dei parametri del modello a partire dal segnale osservato, per ogni intervallo di quasi stazionarietà. Essendo molto difficile separare il contributo dovuto all'eccitazione da quello dovuto al sistema risonante, si schematizza l'eccitazione con una sequenza di impulsi di frequenza pari alla fondamentale (nel caso di segnale periodico o vocalizzato, fig. 2) oppure con rumore bianco (nel caso di un suono aperiodico, fig. 4), conglomerando l'andamento spettrale relativo nel sistema filtrante. Nel metodo della predizione lineare si suppone che il sistema filtrante complessivo sia a soli poli, presenti cioè solo delle risonanze. Questa ipotesi è ben verificata per la maggior parte dei suoni del parlato e porta ad una drastica semplificazione nella determinazione dei parametri del filtro.

Per filtri a solo poli, la funzione di trasferimento è del tipo:

$$H(z) = G/A(z) = G/(1 + \sum_{k=1}^M a_k z^{-k}) \quad (1)$$

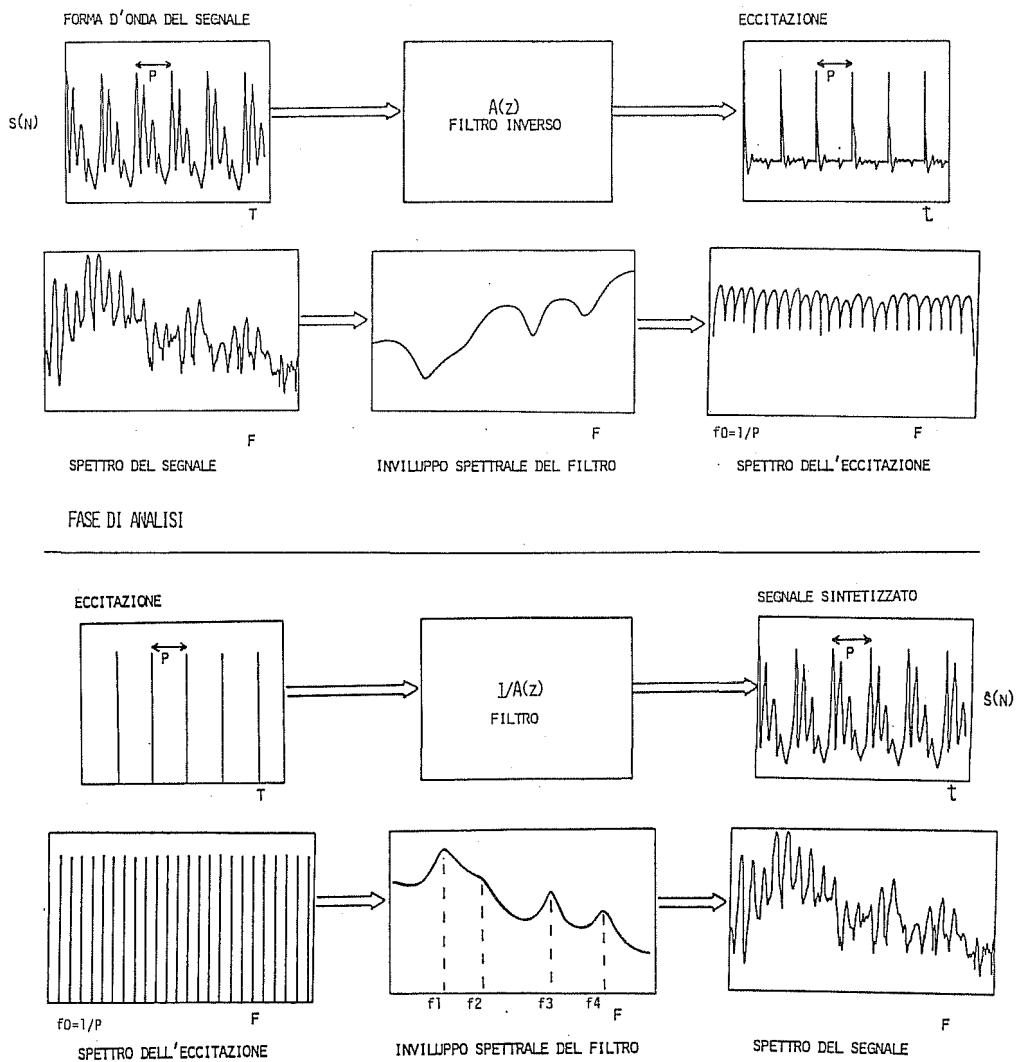
Si osserva che $M/2$ esprime il numero massimo di risonanze nel campo di frequenza $0 \pm F_c/2$ (con F_c frequenza di campionamento). Nel caso del segnale vocale, con $F_c = 10$ KHz e quindi con una estensione di frequenza di 5 KHz le risonanze caratteristiche sono quattro o cinque, da cui risulta che M (cioè l'ordine del filtro) deve essere almeno 10.

Nel caso siano presenti anche antirisonanze (quindi zero) come nella produzione delle nasal, il modello a soli poli può essere ancora utilizzato pur di aumentare opportunamente l'ordine M , sfruttando la relazione:

$$1-a^{-1} = 1/\sum_0^{\infty} a_i z^{-i} \leq 1/\sum_0^{N-1} a_i z^{-i} = (1-a z^{-1}) \prod_0^{N-1} (1-a_i z^{-1})$$

Questa suggerisce che l'effetto di uno zero in $z = a = r \exp(j\phi)$ può essere approssimato con $N-1$ poli in posizione $P_k = r \exp[j(\phi + 2\pi k/N)]$ con $k = 1, 2, \dots, N-1$; lo stesso discorso può essere applicato all'analisi di strumenti: in alcuni di questi, l'ordine M dovrà essere molto elevato per compensare la presenza di antirisonanze (esempio il clarinetto in cui mancano le armoniche pari) oppure per adeguarsi al numero notevole di risonanze (violino, viola, ecc.).

La relazione ingresso-uscita in un sistema a soli



"FIG. 1 Modello di analisi e sintesi per un suono vocalizzato (/a/)."

poli è del tipo:

$$s(n) = -\sum_{k=1}^M a_k s(n-k) + Gx(n) \quad (2)$$

dove a_k è il coefficiente con cui è "pesato" $s(n-k)$, $k = 1, \dots, M$, e $x(n)$ è la sequenza del segnale di ingresso (eccitazione).

L'uscita $s(n)$ risulta quindi, a meno del contributo dell'ingresso $Gx(n)$, una combinazione lineare degli M valori $s(n-k)$ assunti in precedenza dalla uscita stessa.

Nel caso del segnale vocale è possibile osservare solo il segnale di uscita $s(n)$, per cui è spontaneo definire come errore di predizione $e(n)$ la quantità:

$$e(n) = s(n) - \bar{s}(n) \quad (3)$$

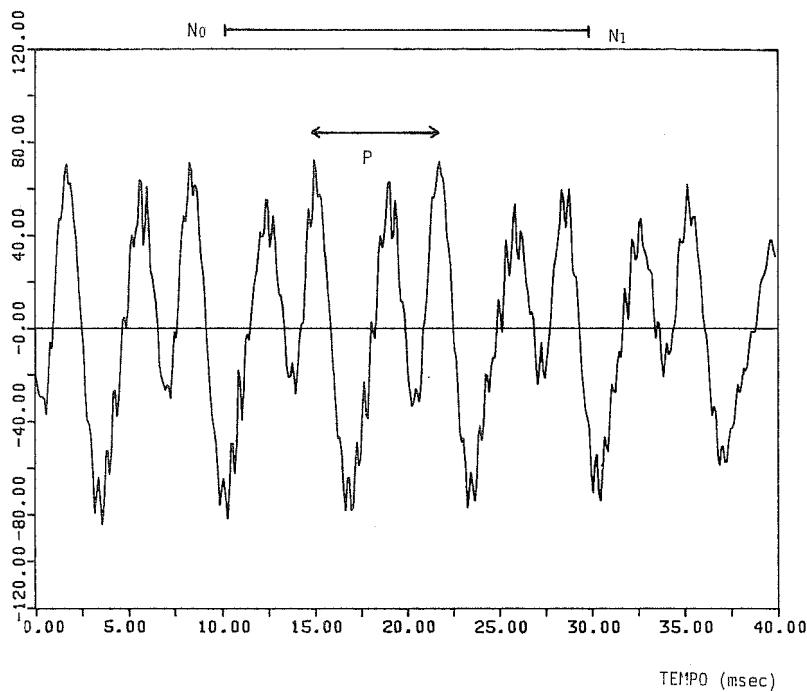
come differenza cioè fra il segnale reale $s(n)$ ed il segnale $\bar{s}(n)$ che può essere calcolato o "preddetto" sulla base della sola conoscenza degli M campioni di uscita precedenti, secondo la equazio ne:

$$\bar{s}(n) = -\sum_{k=1}^M a_k s(n-k) \quad (4)$$

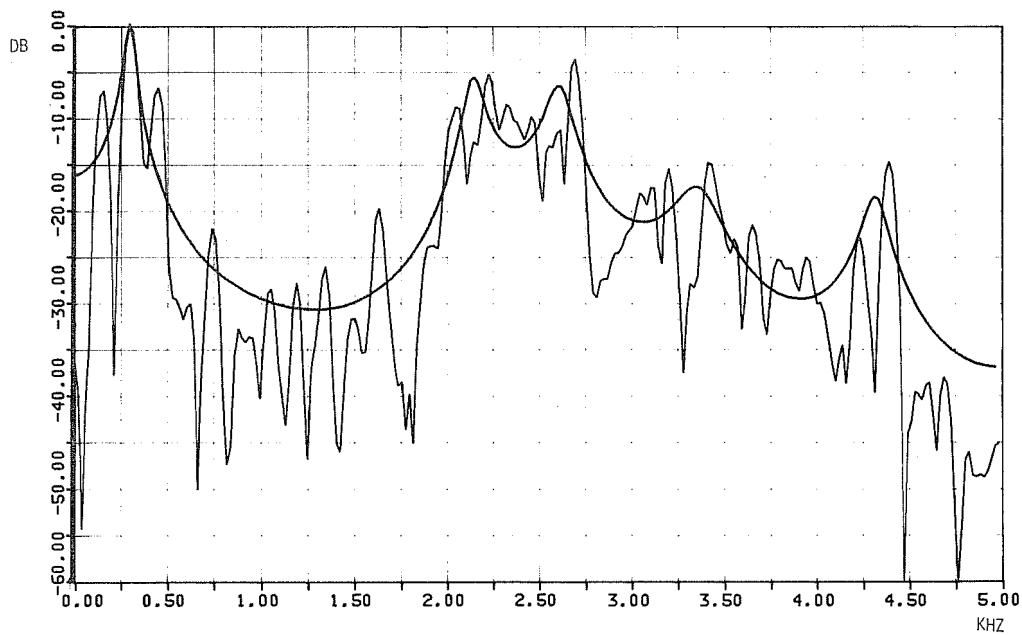
che dà il nome di "predizione lineare" al metodo. Sostituendo nella (3) si ha:

$$e(n) = s(n) + \sum_{k=1}^M a_k s(n-k) - \sum_{k=0}^M a_k s(n-k) \quad (5)$$

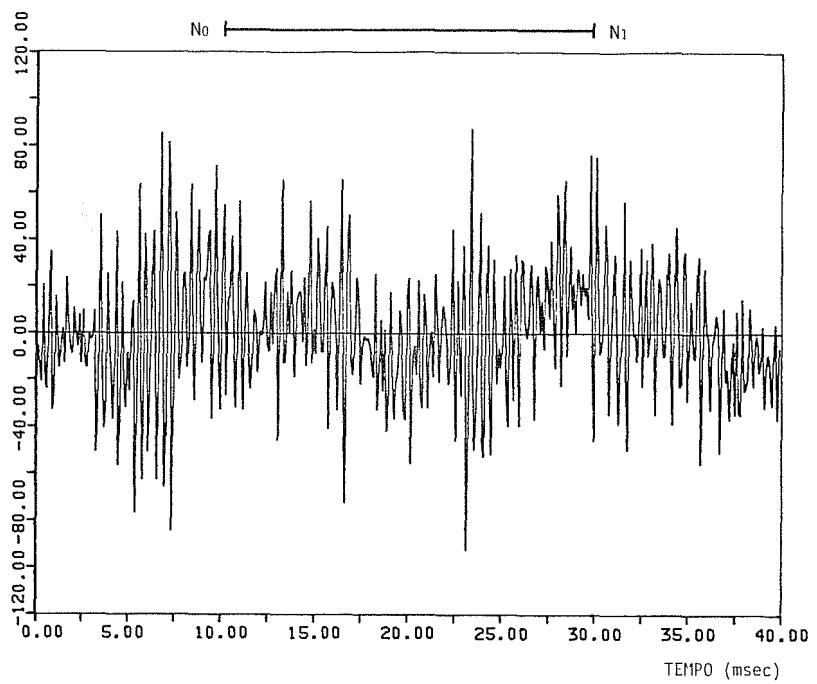
e confrontando con la (2), si può osservare come



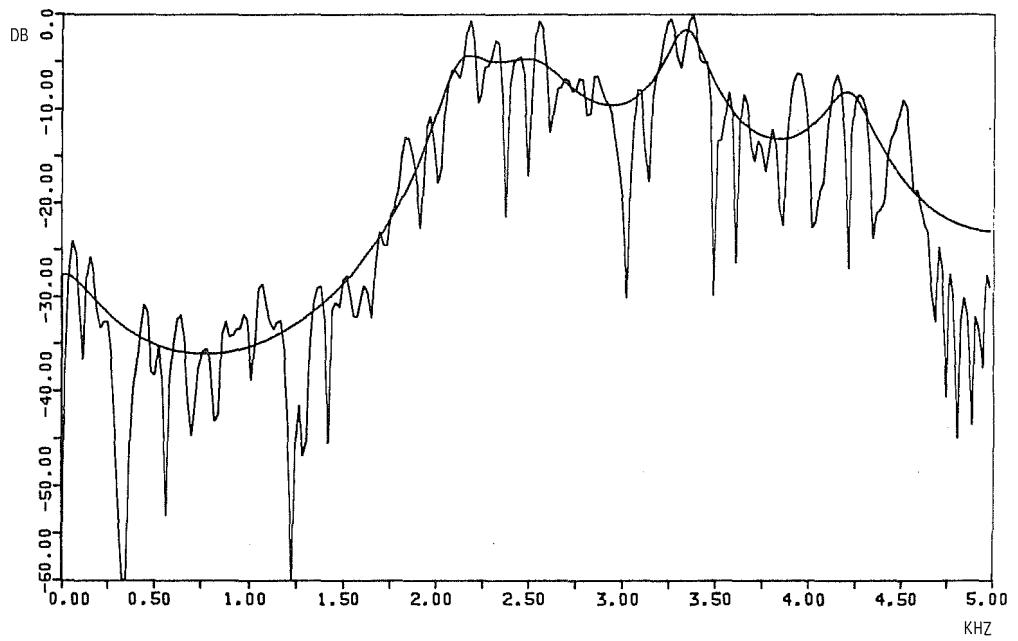
"FIG. 2 Forma d'onda di un segnale vocale periodico (/i/)."



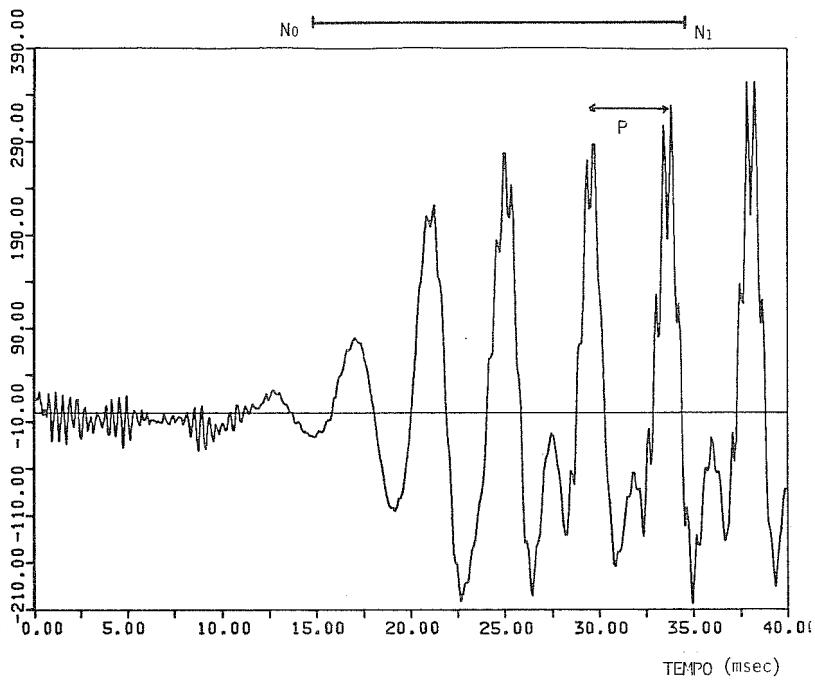
"FIG. 3 Spettro e inviluppo spettrale del filtro di sintesi corrispondenti alla finestra di analisi N_0-N_1 di fig. 2 "



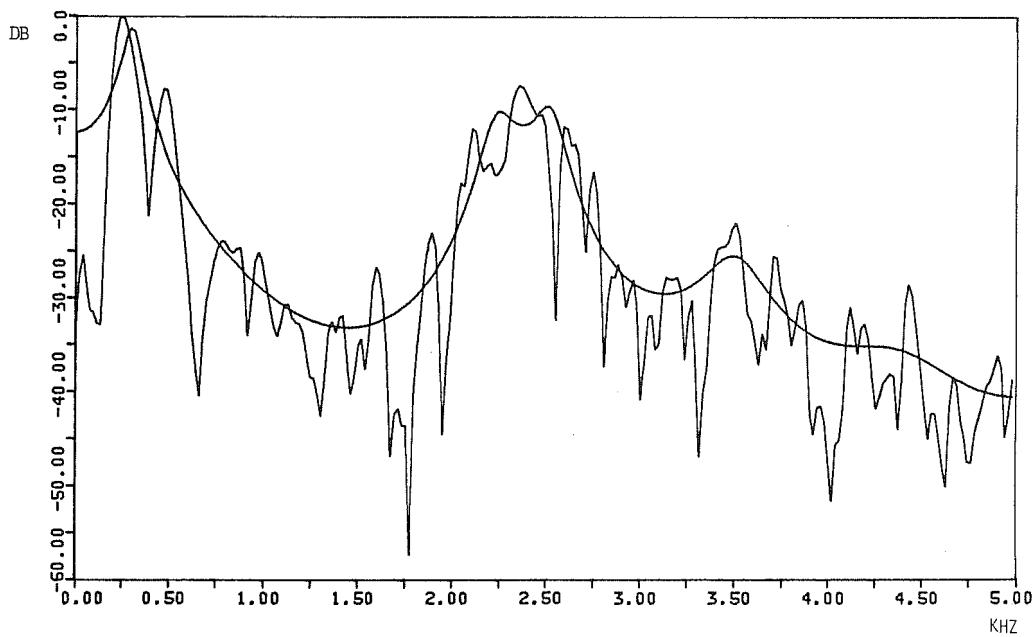
"FIG. 4 Forma d'onda di un segnale vocale aperiodico (/ʃ/ di scena)."



"FIG. 5 Spettro e inviluppo spettrale del segmento di fig. 4"



"FIG. 6 Forma d'onda di un segnale vocale (transizione fra segmento non-vocalizzato /ʃ/ e segmento vocalizzato /e/ nella parola "scena".)"



"FIG. 7 Spettro e inviluppo spettrale del segmento di fig. 6"

la sequenza di errore riproduce la eccitazione (non misurabile) $G \cdot x(n)$. Ovviamente nel caso reale, per le approssimazioni insite nel modello, si avrà: $e(n) \approx G \cdot x(n)$. L'espressione $\sum a_k s(n-k)$ può interpretarsi come la relazione ingresso-uscita $h(n) \cdot s(n)$ di un filtro FIR con funzione di trasferimento:

$$A(z) = 1 + \sum_k a_k z^{-k}$$

Questo filtro è detto "inverso": infatti dalla (1) $A(z) = G/H(z)$.

L'equazione (5) permette di esprimere il segnale di errore $e(n)$ nel dominio della frequenza, come:

$$E(e^{j\lambda}) = A(e^{j\lambda}) \cdot S(e^{j\lambda}) \quad (6)$$

con $A(e^{j\lambda}) = 1 + \sum_k a_k e^{-jk\lambda}$ funzione di trasferimento del filtro inverso e

$$\lambda = 2\pi f/F_c \quad \text{pulsazione normalizzata alla frequenza di campionamento } F_c$$

L'operazione compiuta corrisponde a sottrarre (in scala logaritmica) allo spettro della forma d'onda in analisi (fig. 1) l'inverso della curva-involucro relativa. La fase di analisi è illustrata in fig. 1 nel dominio del tempo e in frequenza, per un segnale reale quasi periodico corrispondente ad una /a/. Nonostante le approssimazioni implicite nel modello, l'errore di predizione $e(n)$ ottenuto all'uscita risulta con buona evidenza una sequenza di impulsi periodici a spettro piatto.

Per quanto riguarda i coefficienti a_k del filtro, il loro calcolo deve ovviamente portare ad una stima del segnale $s(n)$ la più prossima possibile a $s(n)$ nell'intervalle $[n_0 \pm n]$ di analisi. Il problema ha una soluzione semplice, se come criterio si adotta la minimizzazione dell'energia (o potenza media) dell'errore di predizione nell'intervalle $[n_0 \pm n]$:

$$\min_{a_k} e = \min_{a_k} \sum_n e^2(n) = \min_{a_k} \left(\int_0^{2\pi} |S(e^{j\lambda})|^2 |A(e^{j\lambda})|^2 d\lambda \right) / 2\pi$$

Questo significa imporre che le derivate parziali di e rispetto agli a_k si annullino contemporaneamente e porta al sistema di equazioni lineari:

$$(7) \quad \sum_k c_{k,i} a_k = -c_{0,i} \quad i=1,2,\dots,M$$

nelle incognite a_k e con:

$$c_{k,i} = c_{i,k} = \sum_{n_0}^n s(n-i) \cdot s(n-k)$$

Se si suppone il segnale $s(n)$ nullo fuori dell'intervalle $[n_0 \pm n]$ di osservazione (metodo dell'autocorrelazione), si ottiene:

$$c_{k,i} = \sum_{n_0}^{n+k-i} s(n-i) \cdot s(n-k) = R(|k-i|)$$

In questo caso si dimostra che il filtro $1/A(z)$ trovato risulta stabile (requisito fondamentale in sintesi), e che il corrispondente sistema di equazioni lineari (7) può essere risolto in modo molto efficiente con il metodo di Levinson-Durbin.

L'ipotesi fatta ($s(n)=0$ per $n < n_0$ e per $n > n_1$) introduce, tuttavia, un errore associato con il tron-

camento del segnale in analisi. Per ridurre questo "effetto ai bordi" nel calcolo della correlazione, è necessario /3/ premoltiplicare il segnale per una finestra diversa dalla rettangolare (tipicamente la finestra di Hamming), sostituendo quindi il segnale $s(n)$ con $s(n) \cdot w(n)$

La fase di sintesi è simmetrica rispetto a quella di analisi (fig. 1): il suono originario viene ricostruito filtrando il segnale di eccitazione $e(n)$ con il filtro definito dai coefficienti estratti nella fase di analisi e avente una caratteristica spettrale speculare rispetto a quella di $A(z)$, con le risonanze (poli) f_1, f_2, f_3, f_4 , dove l'altro aveva le anti-risonanze (zeri). Il processo di sintesi è tipicamente sottrattivo, ottenendo il suono dall'attenuazione di parziali spettrali esistenti, piuttosto che generandole una per una come nella sintesi additiva.

Se come segnale di eccitazione si utilizzasse proprio l'errore di predizione definito da:

$$e(n) = \sum_k a_k s(n-k)$$

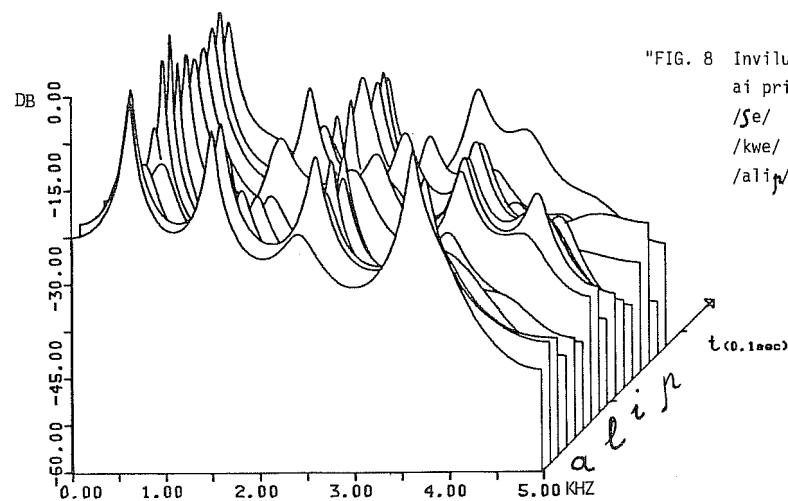
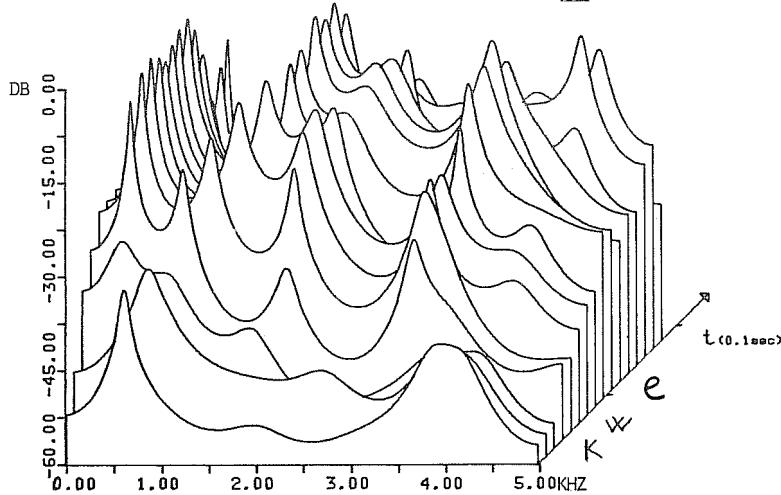
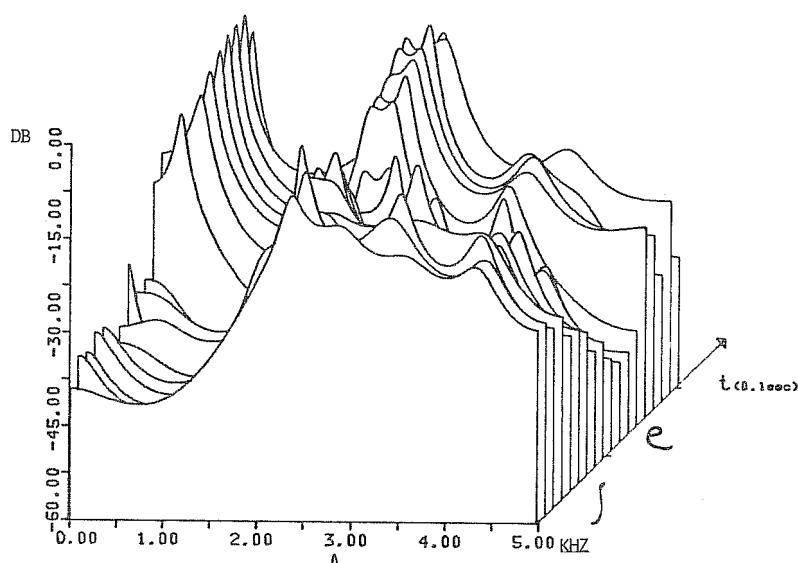
il segnale di partenza verrebbe esattamente ricostruito (a meno di qualche effetto di transizione). Se invece si utilizza per l'eccitazione una schematizzazione dell'errore di predizione (sequenza quasi-periodica di impulsi per suoni quasi-periodici, rumore bianco per suoni aperiodici), in sintesi si ottiene un segnale ricostruito $\tilde{s}(n) \approx s(n)$, dove l'ordine di approssimazione dipende evidentemente dal grado con cui il segnale originario si lascia descrivere da un modello a preditore lineare.

Le fig. 2 e 4 mostrano due segmenti tipici di segnale quasi-periodico (fig. 2) con periodo ≈ 7 msec (estratto da una /i/ e aperiodico (fig. 4, estratto dalla /f/ della parola scena), di durata 40 msec e ottenuti da campionamento a $F_c = 10$ KHz. Nelle figure è altresì indicato l'intervalle $[n_0 \pm n]$ di analisi (tipicamente 3 volte il periodo fondamentale del suono analizzato). In fig. 3 e 5 sono riportati lo spettro $|S(e^{j\lambda})|$ relativo al tratto $[n_0 \pm n]$ e la stima dell'involucro spettrale $G/|A(e^{j\lambda})|$ ottenuta con $M=12$. Dalla fig. 3 risulta che lo spettro per i segnali vocalizzati diminuisce al crescere della frequenza, e che le 5 zone formantiche a circa 300, 2150, 2650, 3400, 4300 Hz vengono individuate correttamente.

Un andamento totalmente diverso si riscontra nell'esempio di fig. 5, relativo allo spettro di un suono non vocalizzato, nel quale si nota la totale assenza di energia alle basse frequenze e la presenza di 3 risonanze a 2300, 3400, 4250 Hz.

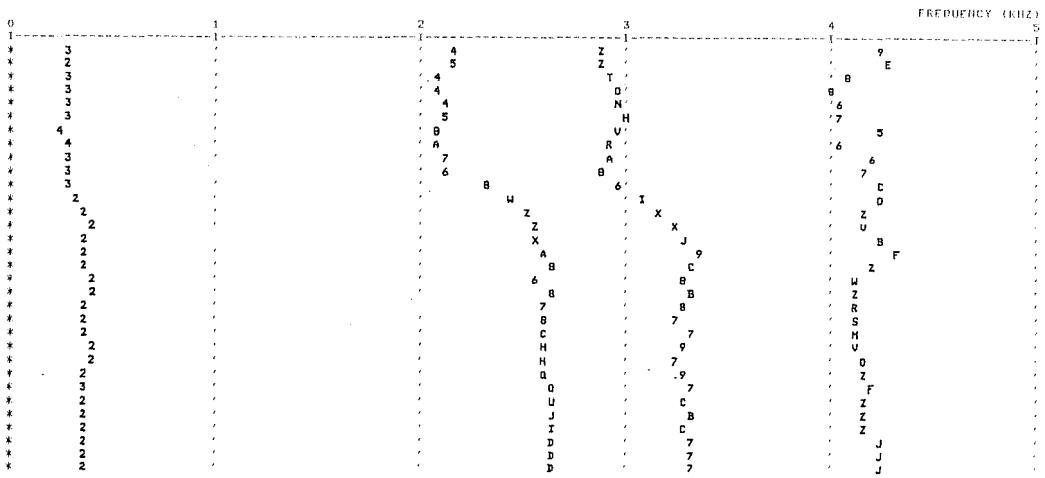
In fig. 6 e 7 sono riportati andamento temporale e spettrale della transizione /f/ → /e/. In questo caso l'ipotesi di stazionarietà non è evidentemente soddisfatta; tuttavia l'evoluzione spettrale può essere ancora ben rappresentata ricorrendo ad un passo di avanzamento della finestra di analisi (aggiornamento dei parametri in sintesi) sufficientemente veloce.

In fig. 8 si può seguire l'andamento nel tempo (200 msec) dell'involucro spettrale ottenuto con passo di avanzamento di 12 msec per 3 segmenti.



"FIG. 8 Inviluppi spettrali relativi ai primi 200 msec dei suoni:
/Se/ di scena
/kwe/ di questo
/aliŋ/ di a Lignano "

A L I GN A N I N L U GLI O



"FIG. 10 Andamento temporale dei formanti nel suono /ni/. Il numero o la lettera indicano la larghezza del formante a -3 dB.

4. UN UTILIZZO MUSICALE DELLA PREDIZIONE LINEARE.

Le implicazioni molteplici di carattere musicale proprie di un modello di analisi/sintesi a predittore lineare (LPC) scaturiscono da due concetti fondamentali e cioè, innanzitutto, da un trattamento del suono su base formantica e, secondariamente, dalla separazione fra sorgente di eccitazione e sistema risonante.

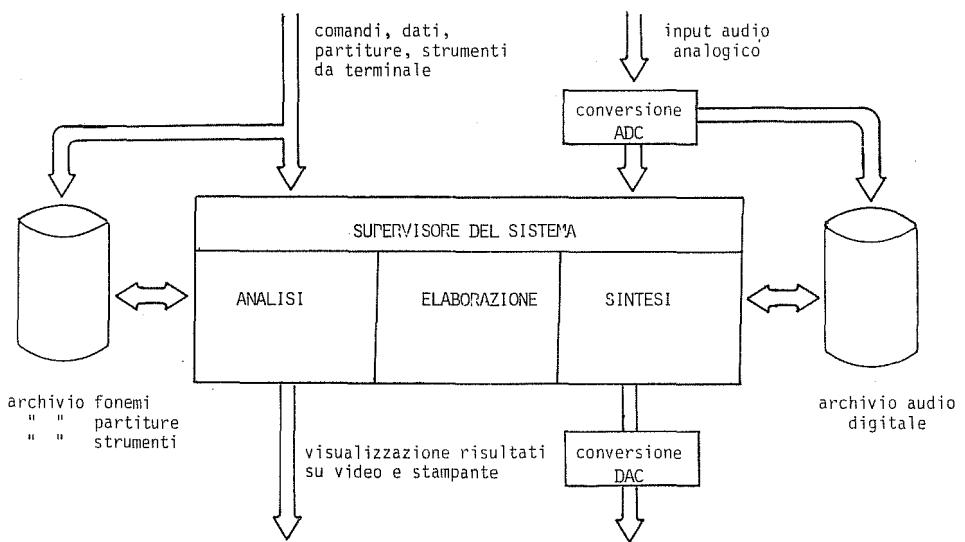
Il primo concetto deriva dall'importanza riconosciuta alle zone formantiche sul piano percettivo, per cui l'orecchio è particolarmente sensibile nella formazione delle immagini uditive alle zone di energia più che alle singole componenti parziali del suono. Questo è dovuto non solo allo effetto di mascheramento delle parziali che cado- no nella banda critica, ma alla naturale micro-variazione di frequenza e ampiezza delle parziali. Questo fenomeno, infatti, provoca la rivelazione dell'inviluppo spettrale caratteristico del suono, in modo particolarmente evidente nel caso del vibrato di frequenza delle componenti, come è stato dimostrato sperimentalmente (Wessel, Mc Adams). Queste considerazioni e, soprattutto, la bontà dei risultati sonori ottenuti portano a ritenere che il modello "fisico" di descrizione del suono basato sulla predizione lineare sia più di altri adeguata alla realtà percettiva.

I vantaggi offerti in effetti rispetto ad altri modelli sono sostanziali:

- 1) non esiste in LPC un problema di riduzione dei dati in quanto questi si presentano già in una forma estremamente compatta, pur mantenendo un livello qualitativo elevato nella sintesi del suono. Più esattamente, ad ogni aggiornamento dei parametri del filtro (e cioè tipicamente $5 + 20$ msec) si forniscono gli M coefficienti a_k (ne bastano 10 per $F = 10$ KH ζ) e il guadagno del filtro, l'altezza del suono² e la sua durata.

2) I dati possono essere elaborati a vari livelli procio è che si può passare dagli M coefficienti di predizione a_k del filtro ai parametri di riflessione K_j di un tubo acustico rappresentante il tratto vocale suddiviso in M sezioni /3/. Si può dunque astrarsi dalla realtà a cui il modello LPC fa riferimento e pensare in termini assai generali ad uno "strumento" la cui forma e velocità di variazione sia controllabile a piacere (fig. 15).

- 3) I dati possono essere elaborati a vari livelli



"FIG. 11 Schema funzionale del sistema analisi/sintesi LPC sotto ICMS"

e separatamente per quanto riguarda il suono di eccitazione e l'inviluppo spettrale. Questo consente delle applicazioni molto interessanti e in alcuni casi impossibili con mezzi o tecniche di sintesi diverse. Si può dunque ottenere il contemporaneo rallentamento della durata del suono e l'aumento dell'altezza senza variare il timbro. Oppure si possono modificare i formanti, mantenendo costante l'altezza o ancora si può sostituire l'eccitazione propria di una voce o uno strumento con quella di un altro, o in generale con un suono qualsiasi. L'utilizzo più interessante della LPC consiste nella facilità con cui si può legare la variazione dei parametri "operativi" ai fattori compositivi: spostando, ad esempio, i formanti a seconda del cambiamento della durata, altezza o altri parametri dati a livello di partitura simbolica.

5. ANALISI/SINTESI LPC SOTTO ICMS

Un sistema di analisi e sintesi basato sulla LPC è stato implementato al CSC sotto il monitor ICMS (Interactive Computer Music System) /7/, con lo scopo principale di sviluppare un ambiente adatto al trattamento unificato di eventi sonori (siano essi reali o sintetici, vocali o strumentali o, ancora, rumori). Il sistema (fig. 11) permette di operare tanto a livello di analisi dei suoni, quanto a livello di sintesi e di strutturazione composta degli stessi. Le funzioni specifiche (tutte selezionabili da "menu") prevedono la definizione della partitura, dello strumento, delle funzioni di controllo dei parametri, la sintesi del suono, con una limitata possibilità di intervento in tempo reale, il missaggio, filtraggio e riverbero in

quadrifonia dei materiali sonori sintetizzati o prelevati da altra fonte, la visualizzazione, infine, dell'andamento temporale della forma d'onda, dei parametri di controllo, dello spettro del suono.

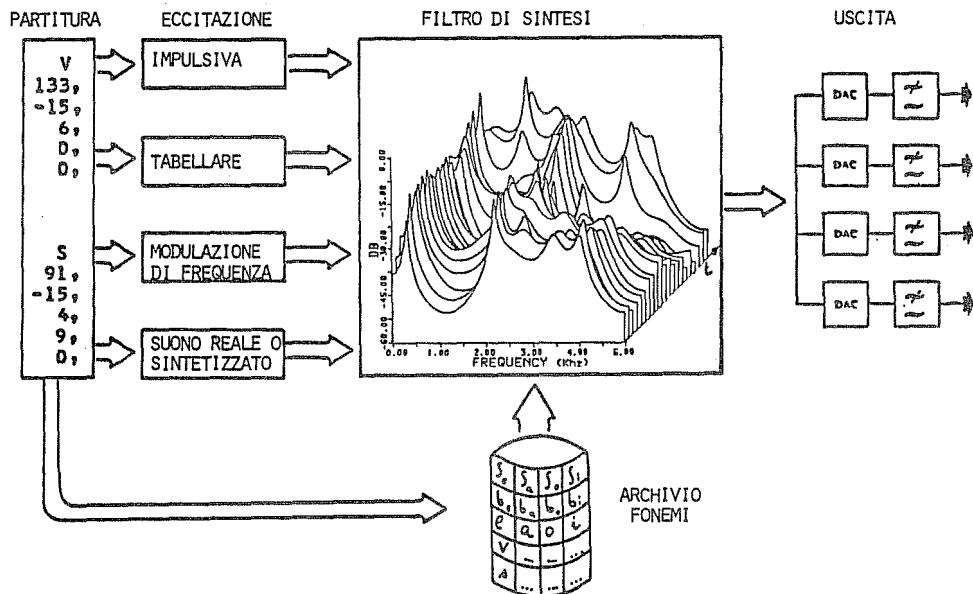
Queste funzioni sono state ora integrate con quelle relative alla LPC e allo sfruttamento musicale della voce.

Per quanto riguarda l'analisi, il sistema permette di operare su segmenti di voce o suoni di durata qualsiasi, di scegliere la frequenza di campionamento e il passo di aggiornamento dei parametri, di visualizzare i risultati relativi ad un determinato intervallo di analisi come all'andamento complessivo nel tempo, di apportare le necessarie correzioni e variazioni, ed infine di archiviare su disco o nastro magnetico i dati.

E' stato codificato, una volta per tutte, in termini di LPC, un archivio di dati ottimizzati, relativi ai componenti elementari della lingua italiana, comprendente le vocali, le transizioni vocale-vocale, le consonanti e le transizioni consonante-vocale /8/. L'utilizzo più ovvio di questo archivio è evidentemente la sintesi del parlato da testo scritto, mentre l'aspetto più interessante sotto il profilo musicale è la possibilità di riferirsi a questo insieme di segmenti di caratteristiche timbriche conosciute, come ad un vocabolario spettrale per controllare la fase di sintesi.

Questa possibilità differenzia l'applicazione di LPC qui discussa da altre conosciute (Petersen /5/, /6/, Dodge, ecc.) in quanto:

- evita, volendo, la fase di analisi, elaborazione e selezione dei dati relativi;
- non è legata a materiali sonori specifici, ma fornisce parametri generalmente validi;
- consente di lavorare in modo semplicissimo sui "suoni" o parametri dell'archivio per modificarli e/o crearne di nuovi;



"FIG. 12 Schema della sintesi LPC sotto ICMS"

- permette di riferirsi ai dati in modo astratto, tanto in forma alfabetica che numerica. Se nella partitura si troverà ad esempio il simbolo /a/ (ovverosia il codice numerico 76), questo starà indicando i parametri di una unità dell'archivio corrispondenti ad un certo timbro (in questo caso ovviamente quello della vocale /a/, fig.13)

Sia che i dati provengano da una analisi diretta, sia che si estraggano dall'archivio dei segmenti codificati, su di essi si può operare in tre modi distinti:

- 1) si possono modificare in modo diretto i valori dei parametri (altezza, durata, guadagno, coefficienti di riflessione del filtro), manualmente o da programma. I programmi messi a disposizione prevedono vari tipi di interpolazione fra i dati, permettendo fra l'altro il passaggio timbrico graduale da un suono ad un altro.
- 2) Si può modificare la curva di risposta del filtro oppure, in modo equivalente, dare posizione e larghezza di banda dei formanti voluti, e ritenerne i coefficienti di controllo.
- 3) Si può, infine, passare alla rappresentazione del tratto vocale in termini del tubo acustico, modificarne nei modi voluti l'articolazione e ritornare poi ai coefficienti di sintesi (fig.15). Alle consuete rappresentazioni in termini temporali e spettrali, si aggiunge in questo caso un modello di interpretazione della medesima realtà sotto forma completamente diversa, ma mutuamente integrantesi con quelli. E' evidente la potenzialità di un modello simile, che unisce caratteristiche proprie di uno strumento tradizionale con una timbrica vocale.

Per quanto riguarda la fase di sintesi, sia che si parta dai dati di analisi o dall'archivio dei seguenti, si controlla l'andamento dei parametri di altezza, durata, intensità e timbro a livello macroscopico, mediante una partitura del tipo di fig. 14. Data quindi una frase o, genericamente, un insieme astratto di caratteri alfabetici, si stabilisce mediante regole o si impone manualmente dove e in che misura l'altezza, durata, ecc. devono cambiare.

Nel caso della sintesi del parlato, queste regole già sono state implementate /9/, /10/ e permettono di dare una corretta intonazione alla frase. Si vede in fig. 14 un esempio di una frase interrogativa e una dichiarativa. Automaticamente dalla scrittura delle frasi, si passa all'individuazione degli accenti primari e secondari, delle pause ecc. secondo regole che agiscono sia a livello della singola parola che a livello di tutta la frase. Da questo tipo di informazioni prosodiche, si passa alla partitura operativa di fig. 14, con l'indicazione dei fonemi relativi alla frase data, il codice numerico corrispondente in archivio, e, nell'ordine, i valori di variazione percentuale dei parametri di durata, altezza, guadagno e eccitazione. La flessibilità di questo tipo di trattamento permette di affrontare soddisfacentemente anche le problematiche connesse alla sintesi del canto.

Come si accennava precedentemente, la separazione della forma d'onda che eccita il tratto vocale dall'inviluppo spettrale che ne determina il timbro, permette interessanti applicazioni.

Sotto ICMS è possibile utilizzare come sorgente di eccitazione suoni che provengano da una sintesi in

UNITA 076

GUADAGNO IGU												
27	30	28	28	28	30	23	21	18	13	6	3	
COEFFICIENTI KAPPA												
28957	29076	29279	29468	29697	30083	30674	30885	31186	31658	31915	31915	
-28538	-28198	-28110	-27771	-27621	-26911	-27159	-27619	-27569	-27692	-27366	-27366	
22629	27979	21623	21713	20751	20301	19823	23180	23753	21874	16221	16221	
-16448	19C3	375	106	2578	392	610	-3516	-5102	-1900	-2519	-2519	
4588	2140	3208	2308	2752	2981	5697	3367	2101	-2079	4857	4857	
-6754	-6828	-6385	-7333	-7554	-5831	-10256	-10583	-12311	-13884	-14152	-14152	
5269	7662	6513	5753	4785	4713	2544	438	-294	-4555	-10889	-10889	
3560	-1359	-2313	-1386	-1961	-2415	-1577	1032	-1784	-2434	-2840	-2840	
-797	3668	5561	6788	5699	823	5378	-1580	-143	3	-999	-999	
-12733	-14479	-16615	-18364	-16171	-12571	-19184	-14558	-12233	-10448	-9916	-9916	
139	1396	3943	1642	-1996	-1017	178	-775	-3120	133	2393	2393	
2527	977	-1673	192	2417	-2319	-3857	-57C6	-4129	-534	2134	2134	
-8849	-10118	-10301	-7446	-8862	-9535	-4137	-1606	-2117	-7141	-6319	-6319	
-4566	-3366	-1670	-3707	-670	1496	-527	-485	3097	1734	-1705	-1705	
-1932	-224	-2803	-1624	-3391	-3210	-3246	-3187	-3518	1965	995	995	
IPT	45	45	45	45	45	45	44	44	44	44	45	45
DURATA IDUR	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
RA	3150611 841317	3467458 841317	3685563	3979962	3561714	3382469	3567248	3572591	3285280	2108422		

"FIG. 13 Parametri di sintesi di una unità (n. 76, /a/) dell'archivio"

FRASE DA SINTETIZZARE:

VUOI BERE DEL VINO? STAPPO LA BOTTIGLIA.

INDICATORI DI PROSODIA:

V	U	O	I	-	B	E	R	E	D	E	L	V	I	N	O	?	
<	2	1	4	-	0	1	<	3	+	<	3	<	+	0	1	<	8
S	T	A	P	P	O	L	A	-	B	O	T	T	I	G	I	A	
<	0	7	<	<	3	+	<	3	+	<	3	<	0	7	<	8	

PARAMETRI DI SINTESI:

V U O I B E R E R E L A B O T T I G L I A .

n.fonema → 133, 184, 173, 79, 78, 11, 75, 109, 75, 78, 119, 75, 61, 78, 132, 79, 106, 77, 78,
durata % → -15, 0, 0, -50, 0, 0, 50, -15, -50, -99, -15, -50, -15, -99, 0, 50, -15, 20, 200,
altezza % → 6, -3, 1, 3, 2, -4, -2, 0, 1, 2, 2, 3, 4, 5, 5, 7, 9, 18, 30,
guadagno % → 0, 11, 25, 9, 1, 13, 25, 14, 9, 5, 5, 10, 14, 19, 19, 25, 25, 25, 25,
tipo ecc. → 0,

S T A P P O L A B O T T I G L I A .

91, 41, 76, 78, 27, 77, 31, 76, 78, 13, 77, 78, 43, 79, 149, 101, 67, 78,
-15, 0, 40, -15, -15, -50, -99, -15, -50, -99, -15, -50, -15, 0, 40, -15, -15, 20, 200,
4, 7, 7, 7, 5, 2, 3, 1, 0, 0, -3, -4, -6, -11, -17, -21, -23, -26,
9, 17, 25, 1, 3, 4, 5, 5, 4, 3, 3, 2, 1, 12, 25, 17, 12, 8, 1,
0, 0,

"FIG. 14 Esempio di andamento prosodico e dei relativi parametri di sintesi assunti da programma in base alle regole stabilite. Si noti la differenza nell'andamento dell'altezza fra frase interrogativa e di chiarativa."

modulazione di frequenza (fig. 12), secondo una propria partitura, e alterarne il timbro con un andamento spettrale definito invece da una partitura del tipo di fig. 14 e relativo tanto a dati di analisi quanto all'archivio dei segmenti.

In maniera simile, l'eccitazione può venire da una funzione memorizzata in una tabella o da materiali sonori sintetizzati con altri programmi e utilizzati dinamicamente dal sistema.

Infine, come eccitazione, può essere utilizzato direttamente un suono reale digitalizzato.

L'ovvia conseguenza è la possibilità di imporre una sonorità di tipo vocale a suoni sintetici e reali, vocalizzando, per così dire, gli strumenti e dando viceversa una colorazione strumentale alla voce.

Si noti infine che la sovrapposizione di un certo andamento timbrico ad una sequenza sonora, secondo uno schema voluto, permette un controllo della dimensione ritmica della composizione che non deriva semplicemente dalla durata degli eventi sonori.

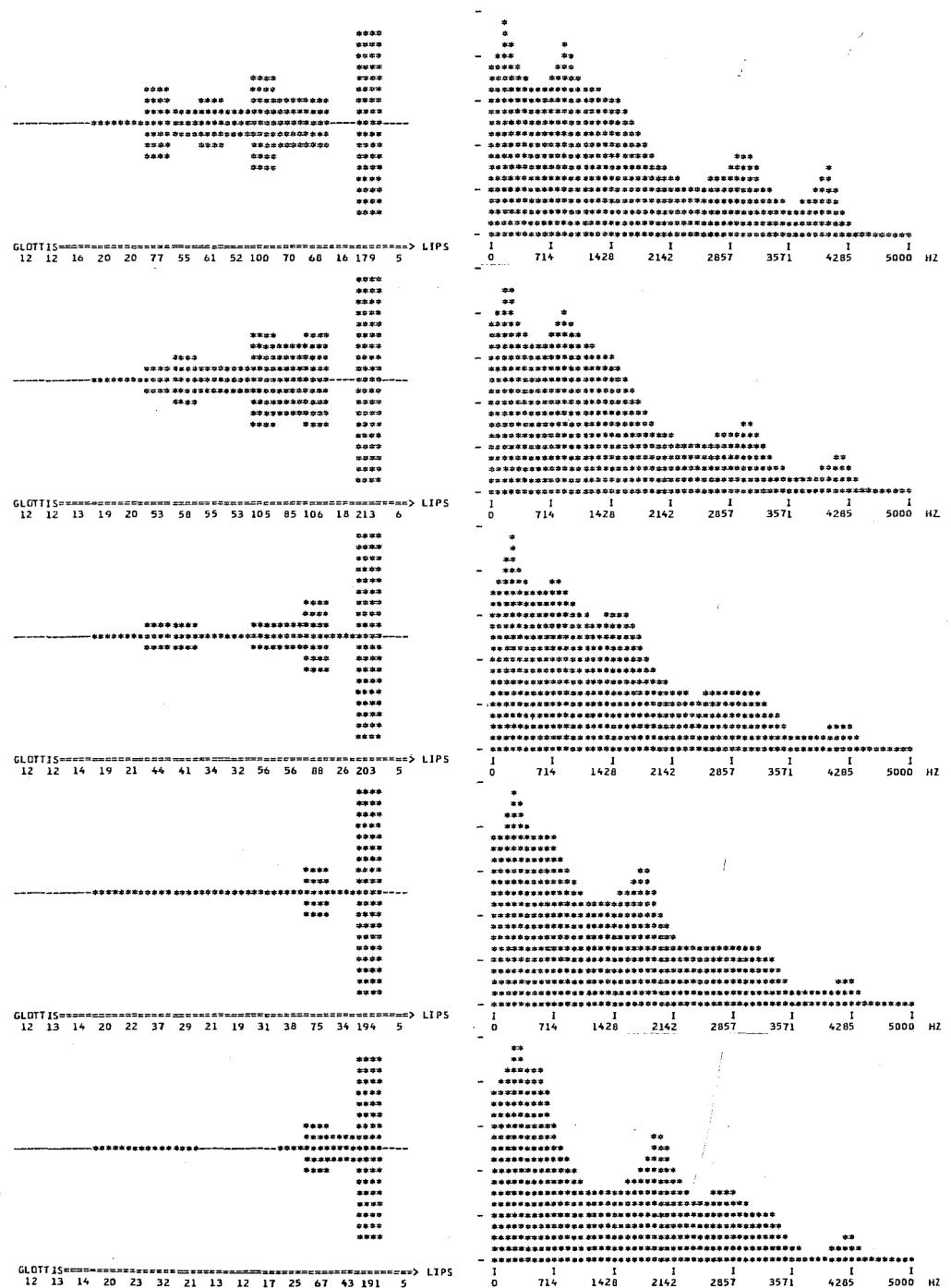
6. CONCLUSIONI

Il sistema realizzato è caratterizzato da una impostazione rivolta all'utilizzo compositivo della voce, integrato con le altre tecniche di sintesi. Sotto il profilo operativo, il sistema mette a disposizione funzioni di uso elementare e che prescindono da conoscenze tecniche specifiche.

Per quanto riguarda l'aspetto musicale, infine, il sistema dà una effettiva possibilità di controllo ad alto livello dei parametri compositivi.

7. BIBLIOGRAFIA

- /1/ Fant, G.C. : "Acoustic theory of speech production", Mouton, The Netherlands, 1960.
- /2/ Flanagan, J.L.: "Speech analysis synthesis and perception", Springer-Verlag, New York, 1972.
- /3/ Markel, J.D. - Gray, A.H.: "Linear prediction of speech", Springer-Verlag, New York, 1976.
- /4/ Rabiner, L.R. - Schafer, R.W.: "Digital processing of speech signals", Prentice Hall, New Jersey, 1978.
- /5/ Petersen, T.L.: "Vocal tract modulation of instrumental sounds by digital filtering", Music computation conference, University of Illinois, november 1975.
- /6/ Petersen, T.L.: "Dynamic sound processing", Proceedings of the ACM conference, Anaheim, february 1976.
- /7/ Tisato, G.: "An interactive software system for real-time sound synthesis", I¹ICMC, Cambridge, october 1976.
- /8/ Mian, G.A. - Morgantini, F. - Offelli, C.: "Efficient coding of speech segments", IEEE ICASSP, 1976.
- /9/ Delmonte, R. - Mian, G.A. - Tisato, G.: "Un sistema per la sintesi dell'italiano: primi risultati", atti convegno IROE, Firenze, marzo 1983.
- /10/ Delmonte R.: "An automatic text-to-speech translator for the synthesis of Italian", FASE DAGA, Goettingen, 1982.



"FIG. 15 Andamento del tratto vocale seconda la schematizzazione come tubo a sezione variabile e relativi inviluppi spettrali. Sono 5 configurazioni assunte a 10 msec di distanza una dall'altra nella sintesi del suono /ae/."

V Sessione
COMPOSIZIONE MUSICALE

Mediante i due modelli di sintesi adottati (wave-shaping e FM) (la fig. 2 illustra i relativi strumenti MUSIC V) è possibile controllare la I dimensione operando sulla larghezza di banda e sulla concentrazione di energia su diverse zone dello spettro (si veda fig. 3); la II dimensione grazie ad una fluttuazione aleatoria del tempo di tenuta dell'inviluppo dell'indice di distorsione. La III dimensione è realizzata con la sovrapposizione di due attacchi come mostrato in fig. 4: al suono originato dalla waveshaping (a) viene sommato un suono FM (b) di durata uguale a quella dell'attacco di a, con ampiezza 1/4 di quella di a e con spettro (larghezza di banda di circa 3-4 armonici) centrato sugli armonici superiori dello spettro di a che non sempre coincide con essi (fig. 5), essendo il rapporto portante/modulante = $n/5$ (con n=numero d'ordine dell'armonico di a su cui è centrato b) (4).

La macrostruttura della composizione (fig. 7) è generata dalla proiezione, in uno spazio bidimensionale con coordinate tempo(x)-frequenza(y),* della pianta di una struttura architettonica. Grazie alla tecnica della 'prospettiva rallentata',** si è ottenuta la dilatazione temporale desiderata. Per quanto riguarda la scelta ed il trattamento della macrostruttura, così come la sua organizzazione interna, occorre precisare che essi dipendono esclusivamente da quei parametri che, estratti da esperienze precedenti, considero compositivi: simmetria, regolarità, direzione, velocità, 'fuoco' e 'punto di fuga'.

La fig. 6 mostra una delle strutture ritmiche che compongono la macrostruttura. La loro organizzazione temporale interna è data dalla posizione del fuoco, determinata a sua volta dai parametri sopra citati.

Ogni struttura assume il timbro che occupa la posizione corrispondente (indicata dalle lettere) nello spazio timbrico di fig. 1.

Dalla collocazione della forma di fig. 6 sugli estremi delle tre dimensioni (G,G',A,P) (mantenendo costanti durata e frequenza, ed equalizzando l'intensità) risulta non solo una verifica dell'applicazione dello spazio timbrico all'intera composizione, ma anche la validità di tale spazio quando utilizzato in contesti ben più complessi dei singoli suoni isolati.

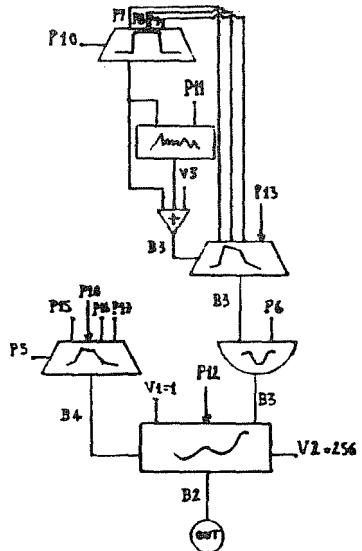


Fig. 2a Strumento waveshaping per il controllo della I e II dimensione.

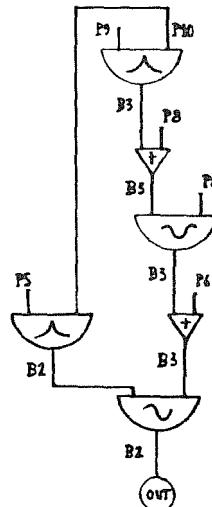


Fig. 2b Strumento FM per il controllo della III dimensione.

*Più precisamente si tratta della pianta del tempio di Minerva Medica (260 d.C. e oltre Roma), ma potrebbe essere una qualsiasi altra pianta. La sua scelta è comunque legata all'interesse per una struttura che dà origine a processi formali fra i più organici in natura: la circonferenza.

**Come per la percezione visiva (peraltro temporale) anche per quella uditiva (musicale) l'essere umano ha un tipo di ascolto 'prospettico', nel senso che, per esempio, solo alla fine di un pezzo giungiamo alla completa comprensione del suo inizio.

Riduzione di dati per la costruzione di spazi timbrici-----Una pulce da sabbia

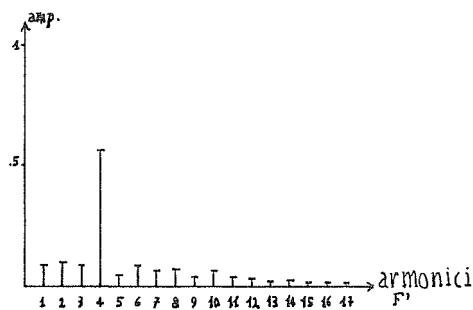
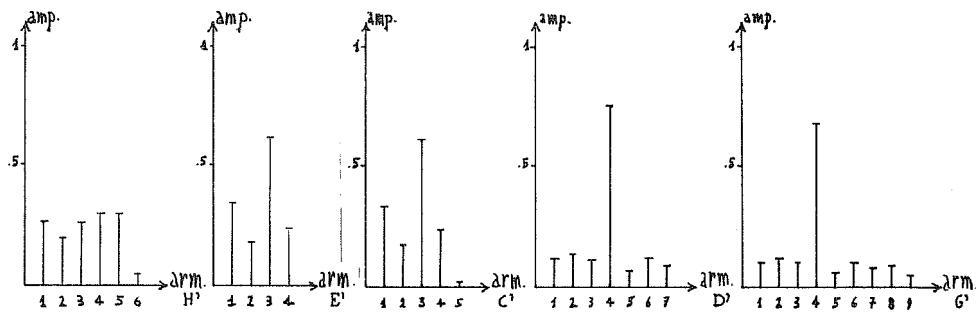
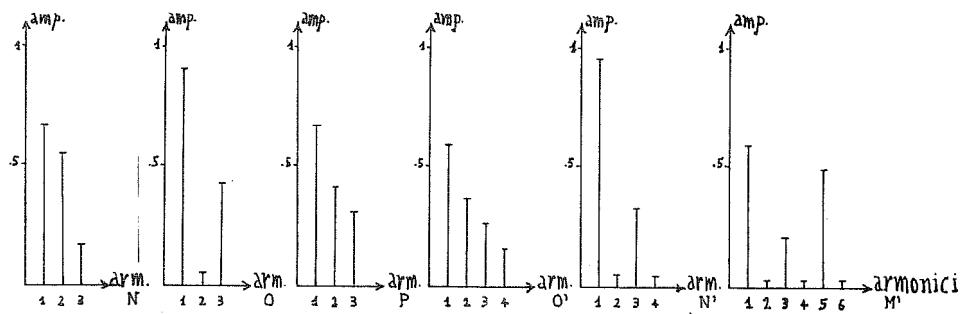
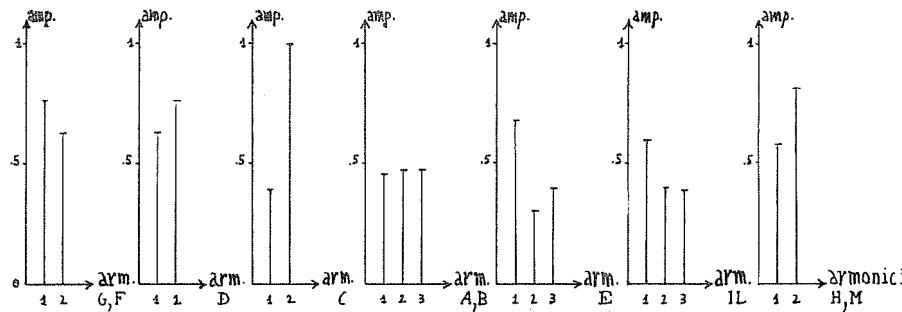


Fig. 3 Spettri dei 22 timbri che compongono lo spazio timbrico di fig. 1.

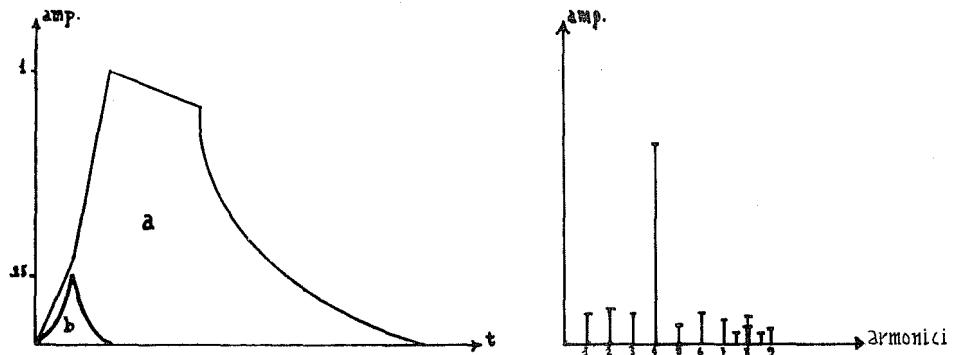


Fig. 4 Modello di realizzazione della III dimensione.

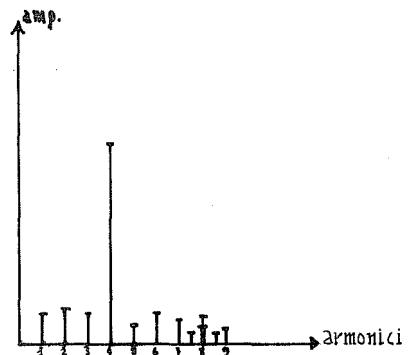


Fig. 5 Esempio di spettro collocato sulla III dimensione.

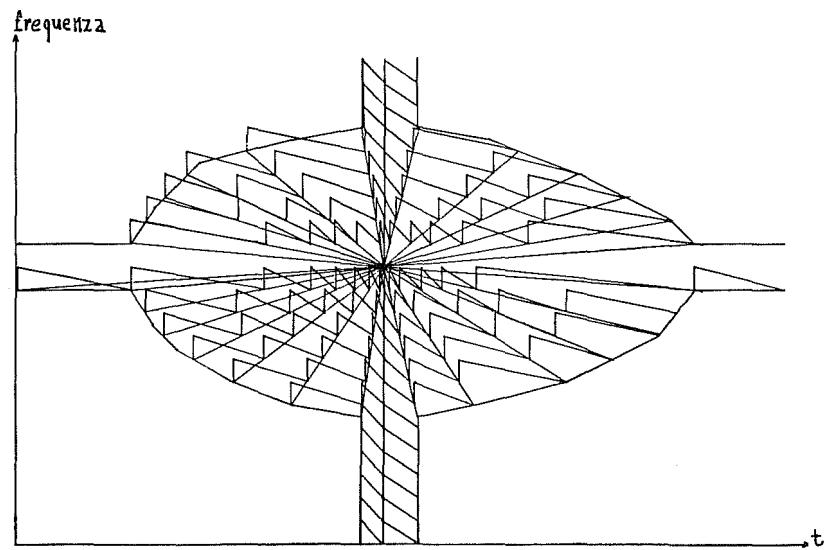


Fig. 6 Struttura D'.

Riduzione di dati per la costruzione di spazi timbrici-----Una pulce da sabbia

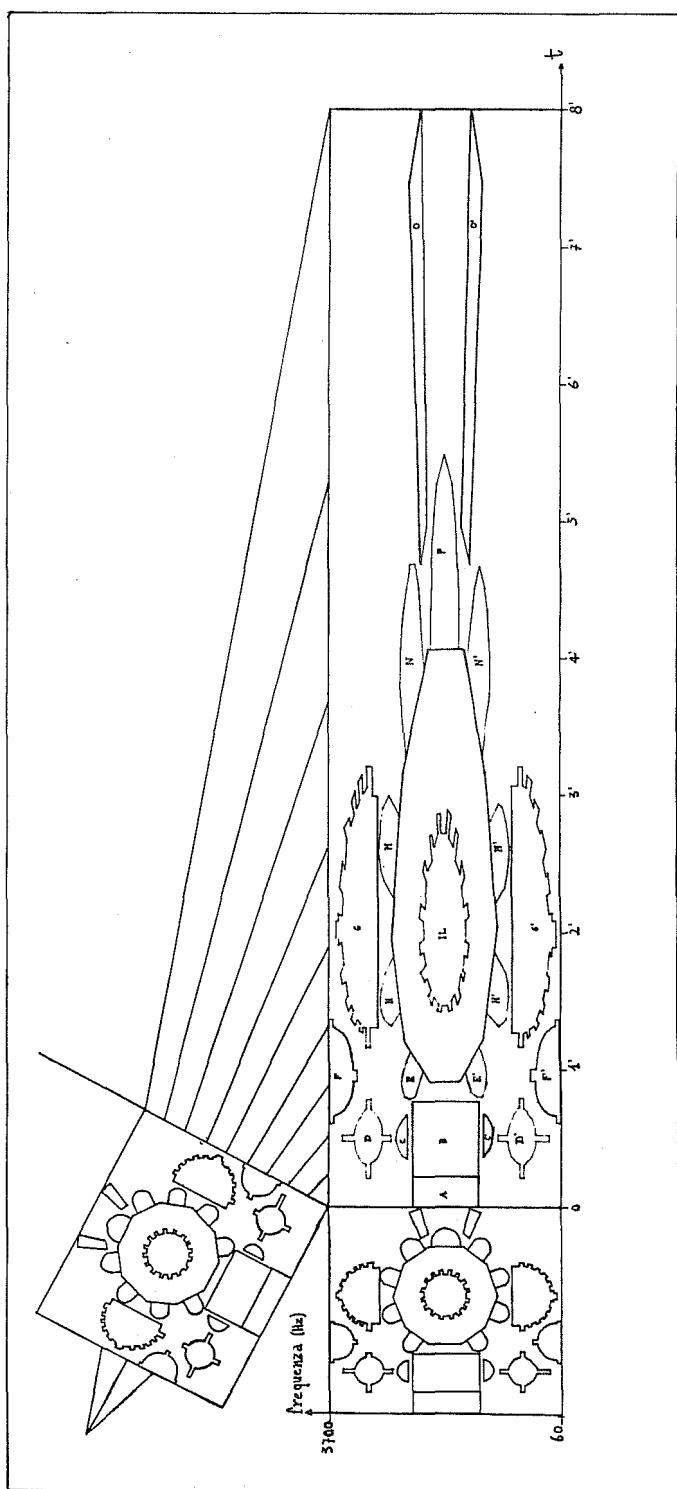


Fig. 7 Macrostruttura.

La composizione è stata realizzata presso il Centro di Sonologia Computazionale dell'Università di Padova utilizzando i computers IBM S/370-158 e S/7; i linguaggi MUSIC V e MUSIC 360 per la sintesi ed il trattamento del suono.
Vorrei infine ringraziare G. Tisato e A. Vidolin per l'appoggio ed aiuto prestati.

Bibliografia

- (1) D. Arfib, Digital synthesis of complex spectra by means of multiplication of non-linear distorted sine waves, AES preprint n. 1319 (C-2), 1978.
- (2) J. Beauchamp, Brass tone synthesis by spectrum evolution matching with nonlinear functions, Computer Music Journal, 3, n. 2 (1979) 35-42.
- (3) G. R. Charbonneau, Timbre and the perceptual effects of three types of data reduction, Computer Music Journal, 5, n. 2 (1981) 10-19.
- (4) J. M. Chowning, The synthesis of complex audio spectra by means of Frequency Modulation, J. Audio Eng. Soc., 21 (1973) 526-534.
- (5) R. Erickson, Sound structure in music, (University of California Press, Berkeley, 1975).
- (6) J. M. Grey, An exploration of musical timbre, (tesi, Stanford University, 1975).
- (7) J. M. Grey, Multidimensional perceptual scaling of musical timbres, J. Acoust. Soc. Am., 61 (1977) 1270-1277.
- (8) J. M. Grey, J. W. Gordon, Perception of spectral modifications on orchestral instrument tones, Computer Music Journal, 2, n. 1 (1978) 24-31.
- (9) M. Le Brun, Digital waveshaping synthesis, J. Audio Eng. Soc., 27, n. 4, 250-266.
- (10) S. McAdams, Spectral fusion and the creation of auditory images, in M. Clynes, Music, mind and brain: the neuropsychology of music, (Plenum, New York, 1982); trad. italiana, Fusione spettrale e la creazione di immagini uditive, in Bollettino LIMB2, (Biennale di Venezia, 1982).
- (11) J. C. Risset, D. L. Wessel, Indagine sul timbro mediante analisi e sintesi, in Bollettino LIMB2, (Biennale di Venezia, 1982).
- (12) D. L. Wessel, Low dimensional control of musical timbre, IRCAM Report Paris n. 12, 1978.
- (13) D. L. Wessel, Timbre space as a musical control structure, Computer Music Journal, 3, n. 2 (1979) 45-52; trad. italiana in Musica e Elaboratore, a cura di A. Vidolin (Biennale di Venezia, 1980).

PROGRAMMA PER IL CONTROLLO DI PARAMETRI TIMBRICI MEDIANTE IL VOLO DI LEVY
APPLICATO AL MUSIC5

Bruno Fagarazzi

Conservatorio "B.Marcello" - Centro di Sonologia Computazionale dell'Università
di Padova

Le diverse grandezze costituenti il timbro si prestano ad essere controllate con processi aleatori. Si è utilizzato il volo di Lévy al fine di garantire una correlazione tra i parametri controllati aleatoriamente oltre ad una loro evoluzione autosimile.

Si è perciò realizzato un sottoprogramma di conversione MUSIC5 che consente la generazione di un volo di Lévy di dimensione frattale D qualsiasi, per il controllo di al massimo 50 parametri ed una serie di sottoprogrammi di utilità. Il volo è stato applicato a diverse tecniche di sintesi (additiva, granulare, modulazione di frequenza, distorsione non lineare).

1. INTRODUZIONE

Il timbro è un parametro multidimensionale che si presta ad essere controllato con processi aleatori, soprattutto per quelle dimensioni che non richiedono una precisa legge di variazione bensì la presenza di una variazione. Pertuttavia il controllo di tali dimensioni con processi aleatori indipendenti a distribuzione equiprobabile non sempre soddisfa le esigenze di varietà timbrica poichè in questo modo non si tiene conto della necessaria correlazione tra le diverse dimensioni. La teoria dell'autosimilitudine sembra la più consona a gestire questo tipo di problema.

2. RICHIAMI SULLA TEORIA DELL'AUTOSIMILITUDINE

Per capire che cosa significhi autosimilitudine bisogna rifarsi(1) allo studio del rumore rosa o rumore $1/f$. Dall'analisi di tale rumore e dalla sua simulazione mediante calcolatore, usando l'algoritmo dei dadi di Voss, si scopre che questo rumore sembra essere più "musicale" del rumore bianco (non correlato) e del rumore ~~scavo~~ (troppo correlato). Ciò dipende, oltre che dal particolare spettro di potenza decrescente all'aumentare della frequenza, anche dalla distribuzione temporale dei salti e dai tempi di correlazione(2); praticamente dalla organizzazione dei livelli gerarchici degli eventi che lo formano. Tale organizzazione è autosimile.

Autosimilitudine significa che la parte è simile al tutto. Ad esempio, nel caso di una curva su un piano, essa si presenta sempre uguale indipendentemente dalla scala usata per rappresentarla.

Il volo di Lévy, usato da Mandelbrot (3), per rappresentare la distribuzione delle stelle nell'universo, si ottiene quando un punto si muove nello spazio euclideo n -dimensionale per salti successivi che siano:

- statisticamente indipendenti
- isotropi come direzione

- distribuiti con probabilità

$$P(L>l) = l^{-D}$$

per quanto riguarda la loro lunghezza o modulo L.

La variabile D, definita da Mandelbrot "dimensione frattale" è, secondo la sua definizione, una dimensione sempre maggiore di 1 che, a seconda del suo valore, dà una diversa visione del fenomeno. Ad esempio, nel caso del modello dello universo, ciò equivale a considerare innanzitutto le galassie poi gli aggregati di galassie e così via.

Cerchiamo ora di fissare le idee: consideriamo uno spazio n -dimensionale in cui ad ognuno degli assi x^i sia assegnato un parametro acustico.

In ogni punto P le n coordinate sono associate ad n valori dei parametri x_1^P, \dots, x_n^P . Ogni asse è dotato di una metrica che ad ogni coppia (x_i^P, x_i^Q) dell'asse associa la loro distanza d_{ij} e l'intero spazio sia dotato della metrica

$$d(P, Q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n d_i(x_i^P, x_i^Q)}$$

dove P e Q sono due punti dello spazio. Adottare questa metrica significa assumere come distanza tra due eventi sonori la somma delle singole distanze tra i valori dei singoli parametri.

Per esempio, supponiamo di ambientare un volo di Lévy ad esponente D in uno spazio acustico bidimensionale dotato della metrica suddetta; gli assi X e Y sono associati a due parametri acustici ed ogni coppia di valori costituisce un evento sonoro.

Consideriamo, come in figura, il salto dall'evento sonoro P_0 a P_1 .

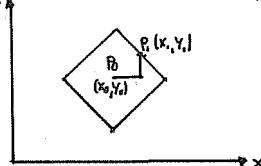


fig.1

Deciso il modulo L del salto, in base alla distribuzione di probabilità di Lévy, il punto P_1 viene scelto a caso tra quelli che distano L da P_0 . P_1 è quindi un punto qualsiasi del quadrato di centro P_0 . La distanza tra i due eventi è:

$$d(P_0, P_1) = |x_0 - x_1| + |y_0 - y_1| = L$$

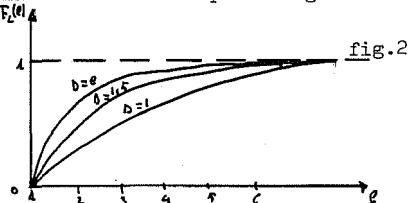
Procedendo in questa maniera si scelgono gli eventi successivi P_2, \dots, P_m ; tali eventi costituiscono i vertici di un volo di Lévy che, naturalmente, può essere esteso a quante dimensioni vogliamo. Le ragioni che ci hanno fatto scegliere il volo di Lévy invece che altri modelli sono almeno due:

- si può dimostrare che considerando la successione dei valori assunti dal parametro x_i , corrispondente alla successione di eventi, tali valori costituiscono i vertici di un volo di Lévy ad esponente D sulla retta presa come asse x_i . Tale successione, quindi, forma un sottoinsieme dotato della stessa struttura gerarchica e dello stesso grado di aggregazione dell'insieme degli eventi sonori. Naturalmente ciò succede su ogni asse.
- il volo di Lévy è Markoviano cioè il suo futuro non è influenzato dal passato.

Sono evidenti, a questo punto, i vantaggi che comporta l'uso del volo di Lévy per gestire le variazioni del timbro che è costituito da tanti parametri che devono variare in maniera diversa ma tra loro correlata.

La scelta delle n componenti di ogni salto viene fatta dividendo in n parti un segmento L ed assegnando in maniera casuale un segno ad ogni parte che verrà sommata algebricamente al precedente valore del parametro.

Il volo di Lévy viene realizzato, in pratica, generando una sequenza di numeri casuali tra 0 e 1 che vanno a campionare una funzione del tipo di fig.2.



Tale funzione rappresenta la distribuzione di probabilità che consente di determinare la sequenza di valori L .

Ognuno di questi valori di L viene associato ad un segmento che viene poi diviso in n parti per ottenere le n dimensioni del volo. La divisione si ottiene prendendo un punto a caso M sul segmento in modo da ottenere due valori x ed y . Se voglio tre dimensioni prendo un secondo punto a caso M_1 su x ed ho x_0, x_1, y se ne voglio quattro prendo anche un punto su y in maniera da avere x_0, x_1, y_0, y_1 e così via come in figura 3.

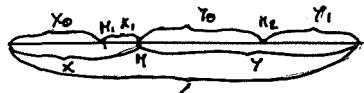


fig.3

Ai valori così ottenuti si assegna poi casualmente il segno.

Ognuna delle n dimensioni di cui è composto il volo va associata ad una funzione che lega i numeri generati dal volo ai parametri necessari all'algoritmo di sintesi.

3. CONTROLLO DI PARAMETRI TIMBRICI

Come già accennato il timbro è un parametro multidimensionale che fa riferimento a grandezze tipicamente percettive.

D'altra parte i metodi di generazione del suono fanno riferimento ai parametri fisici e non a quelli percettivi del suono da sintetizzare. Va aggiunto che esistono diversi modelli di rappresentazione del timbro a livello pereettivo come pure sono utilizzabili diversi algoritmi per la generazione del suono.

In questo lavoro si è innanzitutto affrontato il problema del controllo autosimile del timbro riferito ai parametri fisici e si sono predisposti gli strumenti per il controllo dei parametri percettivi. In entrambi i casi è sorto il problema di limitare l'escursione dei singoli parametri derivati dal volo nel campo di validità di ciascun parametro fisico o percettivo associato.

Il modo di gestire questo delicato problema è strettamente dipendente dal metodo usato per generare i numeri casuali che stanno all'origine del processo.

Utilizzando l'elaboratore possiamo avere due tipi di aleatorietà:

- aleatorietà totale
- aleatorietà parziale.

Nel primo caso la generazione dei numeri casuali dipende da fattori esterni mai ripetibili in modo che ogni volta si ottiene una sequenza diversa di numeri casuali. In questo caso non è possibile prevedere che valori assumerà il volo nel suo progredire.

Nel secondo caso, invece, il processo di generazione dei numeri aleatori sfrutta un processo deterministico che possiede una certa ciclicità, pertanto partendo da uno stesso seme otteniamo sempre la stessa sequenza.

D'altra parte è necessario vincolare i punti di ciascun parametro del volo in un preciso campo di variabilità che può dipendere anche da esigenze compositive.

Inoltre il passaggio da valore numerico ottenuto tramite il volo a parametro fisico o percettivo, necessario alla sintesi, deve essere realizzato tramite una legge che garantisca l'autosimilitudine. A tale scopo si è rivelato particolarmente utile specificare tale legge attraverso una funzione definita mediante segmenti di retta il cui dominio costituirà un preciso limite di variazione per la variabile indipendente, i valori della quale saranno determinati da Lévy.

Con l'aleatorietà totale, quindi, non potendo prevedere l'escursione del volo si è vista la necessità di riflettere allo interno del dominio della funzione i valori generati da Lévy che ne andavano al di fuori. Dall'esperienza condotta si è visto che queste barriere di riflessione comportano però dei lunghi calcoli se il volo si allontana molto dai valori medi ed, in alcuni casi, potrebbe "viziare"

Controllo dei parametri timbrici mediante il volo di Lévy

l'autosimilitudine.

Abbiamo escluso a priori le barriere di assorbimento dal momento che non sono consone al concetto di autosimilitudine. Nel caso della pseudaleatoria è possibile conoscere preventivamente il campo di variabilità di ciascuna dimensione del volo. Questa particolarità è stata sfruttata facendo fare alla macchina prima un volo calcolando i massimi e minimi per ogni dimensione e poi ripartendo dallo stesso senso con lo stesso numero di dimensioni e la stessa dimensione frattale per realizzare l'escursione vera e propria applicata all'algoritmo prescelto. Attraverso il volo di Lévy, quindi, si possono controllare i parametri desiderati vincolandone la variazione all'interno di un preciso campo tramite una funzione di trasferimento (valore di Lévy - valore del parametro) qualsiasi.

Se si agisce direttamente a livello di algoritmo di sintesi, il volo determinerà i valori dei parametri fisici. Ad esempio i tempi di attacco, decadimento e tenuta nella generazione degli inviluppi possono essere trattati in questo modo come pure nella modulazione di frequenza può risultare interessante gestire piccole variazioni dell'indice di modulazione. Nella sintesi additiva questo algoritmo può servire per individuare i piccoli scostamenti dai valori esatti delle armoniche. Se si agisce, invece, a livello percettivo, si possono controllare, ad esempio, piccole variazioni della brillantezza o della dinamicità del suono. È difficile comunque fare un elenco dei parametri controllabili mediante il volo di Lévy in quanto anche tutte le grandezze di uno strumento di sintesi possono, al limite, essere gestite dal volo; la scelta dipenderà dal contesto musicale e dalla esigenze del compositore.

4. IMPLEMENTAZIONE DEL VOLO DI LEVY COME SOTTOPROGRAMMA DI CONVERSIONE MUSIC5.

Il programma di sintesi MUSIC5 è suddiviso in tre passi sequenziali: il primo di lettura della partitura ed eventuale generazione di istruzioni tramite programmi PLF; il secondo di ordinamento temporale delle istruzioni ed eventuali conversioni; il terzo di calcolo dei campioni sonori(4) (5).

Il volo di Lévy è stato inserito come sottoprogramma di conversione nella versione standard del MUSIC5 attualmente disponibile presso il C.S.C. dell'Università di Padova.

Tale sottoprogramma consente la generazione di voli aventi al massimo 50 dimensioni che consentono il controllo di altrettanti parametri indipendenti. Questo valore è stato scelto in conformità al massimo numero di parametri che può avere un'istruzione NOT nella versione del MUSIC5 in oggetto.

Tramite questo sottoprogramma, quindi, possono essere controllati tutti o una parte, dei parametri di ciascuna istruzione NOT, ed eventualmente sotoporre gli stessi parametri alle stesse operazioni di conversione previste dal MUSIC5. Oltre all'operatore volo di Lévy(contradistinto dal codice di conversione 4501) sono stati aggiunti altri sottoprogrammi

di utilità necessari alla operazioni di riflessione(codice di conversione 4600), di stampa dell'andamento del grafico delle singole dimensioni del volo(codice di conversione 4700) e di calcolo del massimo e minimo di ciascuna dimensione(codice di conversione 4800).

Le funzioni di trasferimento impiegate per il passaggio dal valore corrente di una dimensione del volo a parametro fisico o percettivo sono state realizzate utilizzando un sottoprogramma di conversione già esistente(codice di conversione 4100).

5. ESEMPI APPLICATIVI

L'utilizzazione del volo di Lévy per il controllo dei parametri di un algoritmo di sintesi si presta ad un numero di applicazioni estremamente vasto in dipendenza della grande quantità delle variabili trattate.

Come si è già detto, la scelta dei parametri da controllare, il campo di variazione e la funzione di trasferimento, dovrà essere effettuata dal compositore. Negli esempi sonori che presentiamo si è perciò applicato il volo ad un largo numero di parametri anche tradizionalmente non rientranti nella definizione di timbro (quindi la durata, l'ampiezza e la frequenza) con l'intento di tracciare un quadro il più ampio possibile delle potenzialità di tale algoritmo.

Per dare un esempio dell'andamento delle singole dimensioni di un semplice volo di Lévy con dimensione frattale 2 e numero di dimensioni 7, si è stampato un grafico, usando il sottoprogramma suddetto, dei primi 300 passi del volo ed è riportato nella tav.1 alla fine del lavoro.

Negli esempi sonori che presentiamo il volo è stato applicato alle seguenti tecniche di sintesi: pseudo granulare, additiva, modulazione di frequenza, distorsione non lineare.

Per favorire il confronto fra i diversi esempi sonori si è cercato di mantenere il più costante possibile il valore delle variabili che condizionano l'evoluzione del volo, compatibilmente con la inevitabile diversità dei parametri associati al modello fisico o a quello percettivo.

In particolare si è utilizzata sempre la stessa successione di numeri aleatori, la stessa dimensione frattale del volo D=2, lo stesso numero di passi (300), anche le funzioni di passaggio da parametro di Lévy a parametro di sintesi sono state scelte le più semplici possibili (rette o esponenziali) e le note su cui agisce il volo sono sempre una successione di eventi con distanza temporale costante generati tramite una PLF. Questo, anche se può presentare caratteristiche di monotonia quantomeno ritmica, consente però, di concentrare l'attenzione sui singoli parametri controllati direttamente da Lévy e un più efficace confronto fra le diverse tecniche adottate.

5.1. Sintesi pseudo-granulare.

In questo primo esempio, il volo di Lévy agisce semplicemente su tre parametri: durata fisica della nota, ampiezza e frequenza.

Il volo di Lévy ha quindi tre dimensioni e nell'esempio è stata scelta la dimensione frattale D=2.

Lo strumento MUSIC5 e le funzioni di trasferimento sono riportati nella tav.2. Il volo agisce su di una successione di 300 note a distanza di .125 sec. una dall'altra. Inoltre i grani hanno una durata di molto superiore alla distanza che li separa (da qui il nome pseudo-granulare), un inviluppo a campana ed una forma d'onda sinusoidale. Con tale tecnica si creano densità variabili con effetti di riverberazione ed amalgami timbrici molto particolari.

5.2. Sintesi additiva.

L'algoritmo di sintesi è costituito da sei componenti parziali aventi forma d'onda sinusoidale e sei generatori di inviluppo indipendenti con controllo del tempo di attacco e di decadimento che seguono una legge esponenziale. Il tempo di tenuta, invece, è proporzionale alla durata della nota ed in tale fase l'ampiezza varia con legge lineare decrescente.

Ciascuna componente è stata controllata nei seguenti parametri: ampiezza, frequenza, tempo di attacco e di decadimento per un totale di 24 parametri. Come controllo globale va aggiunta la durata ed il bilanciamento tra i due canali dello stereo? In conclusione il volo di Lévy avrà 26 dimensioni e si è mantenuta la dimensione frattale D=2.

Lo strumento MUSIC5 e le funzioni di passaggio da parametro di Lévy a parametro di sintesi sono illustrati nella tav.3. Vengono generate 300 note a distanza temporale di .25 sec..

5.3. Sintesi additiva correlata.

In questo esempio si è usato lo stesso algoritmo di sintesi dell'esempio n°2, ma il controllo mediante il volo di Lévy è realizzato in maniera differente. I 26 parametri che richiede tale algoritmo non sono stati associati ad altrettante dimensioni del volo di Lévy ma si è usato un volo ad 11 dimensioni.

Quattro di queste definiscono i parametri della prima parziale: durata D_0 , ampiezza A_0 , frequenza F_0 , tempo di attacco TA_0 , il tempo di decadimento viene ricavato analiticamente dalla durata e dal tempo di attacco con l'espressione:

$$TD_0 = (D_0 - TA_0) * 5.$$

Altre due dimensioni individuano i parametri globali come l'indice di stenatura ed il balance e le rimanenti cinque individuano l'indice di ciascuna parziale IA_i che permette di stabilire le variazioni delle grandezze di ciascuna parziale rispetto alla fondamentale (la prima). Queste variazioni vengono ottenute tramite delle leggi che fanno riferimento a parametri che, anche se non propriamente percettivi, controllano le caratteristiche acustiche del materiale sonoro. Esse sono:

$$\begin{aligned} A_i &= A_0 - F_A(IA_i) \\ F_i &= F_0 * F_N(IA_i) + IS * F_IS(IA_i) \\ TA_i &= TA_0 * F_TA(IA_i) \end{aligned}$$

$$FD_i = (D_0 - TA_i) * F_TD(IA_i)$$

Tutto ciò ci obbliga anche a delle scelte compositive; ad esempio, le frequenze delle parziali stanno tra di loro, nel nostro caso, in rapporto armonico.

Vengono generate 300 note a distanza temporale di .25 sec..

Lo strumento MUSIC5 è lo stesso dell'esempio n°2 così come le funzioni che individuano la fondamentale e i due parametri globali; le funzioni F_A , F_N , F_IS , F_TD , F_IS , IS sono riportate nella tav.3A.

5.4. Modulazione di frequenza.

L'algoritmo di sintesi è costituito da due generatori sinusoidali (portante e modulante) e due generatori di inviluppo (ampiezza della portante ed indice di deviazione della modulante) anche questi con controllo del tempo di attacco e del tempo di decadimento esponenziali, il tempo di tenuta è proporzionale alla durata e la sua variazione è lineare decrescente.

Le dimensioni del volo sono 12 e controllano direttamente, tramite le funzioni riportate, assieme allo strumento MUSIC5, in tav.4, i seguenti parametri: durata, ampiezza, frequenza della fondamentale, rapporto portante-modulante (N_1/N_2), indice di modulazione minimo e massimo, tempo di attacco e di decadimento per la ampiezza e per l'indice di modulazione, balance.

Anche qui per favorire il confronto con le altre tecniche di sintesi si è mantenuta la dimensione frattale D=2 e le funzioni sono elementari.

Vengono generate 300 note a distanza temporale di .25 sec..

5.5. Distorsione non lineare.

L'algoritmo è costituito dalla tradizionale DNL con aggiunta una modulazione di ampiezza per creare, eventualmente, anche timbri inarmonici.

In particolare l'algoritmo è costituito da due generatori di inviluppo (ampiezza ed indice di distorsione) e due oscillatori sinusoidali (modulante e portante) ed un modulo distorcente che agisce sull'ampiezza della fondamentale sfruttando il polinomio di Chebyshev.

I parametri del volo sono 15: durata, ampiezza, frequenza fondamentale, rapporto portante-modulante (N_1/N_2), indice di distorsione minimo e massimo, tempo di attacco e di decadimento dell'ampiezza e dell'indice di distorsione, balance, e scelta delle funzioni distorcente e dei due oscillatori audio.

Dimensione frattale 2 e funzioni elementari. Sono state generate 300 note a distanza temporale di .25 sec..

Lo strumento MUSIC5 e le funzioni di trasferimento sono riportati nella tav.5.

6. CONCLUSIONI

In questo lavoro sono stati realizzati alcuni sottoprogrammi per la generazione di numeri aleatori mediante il volo di Lévy e si ritiene che l'applicazione migliore possa essere il controllo delle microvariazioni timbriche.

Tali sottoprogrammi, comunque, possono essere utilizzati anche per altre applicazioni che contemplano un ruolo più

determinante della casualità fino alle composizioni totalmente aleatorie.

Questa ricerca, finalizzata al timbro in senso lato, avrà la sua naturale estensione nel controllo di spazi timbrici definiti secondo modelli percettivi (come ad esempio quelli di Grey o di Wessel).

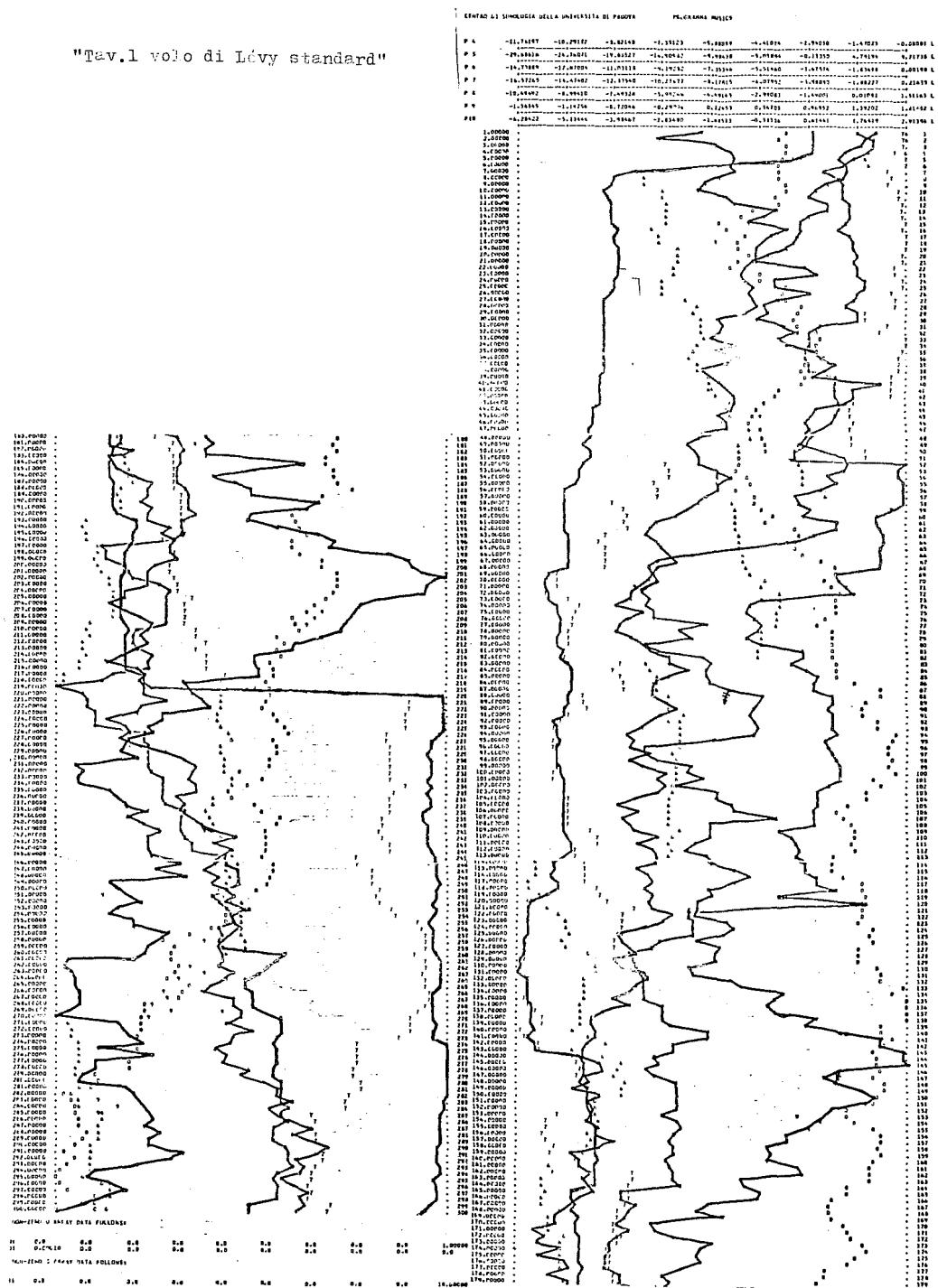
Non si possono inoltre trascurare altre estensioni non meno significative quali:

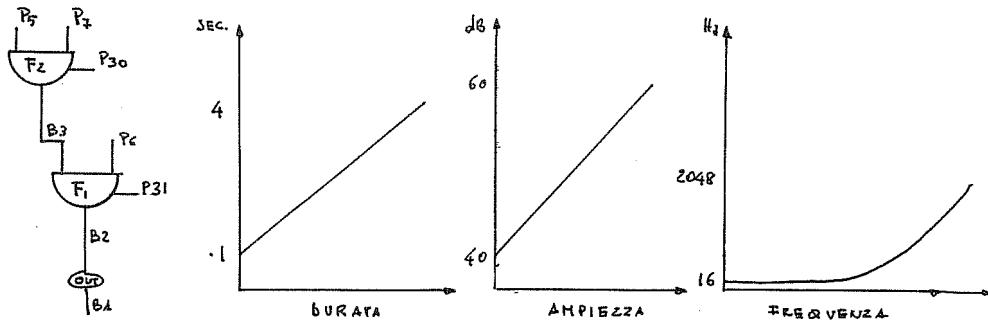
- il controllo di gruppi di parametri mediante voli indipendenti
- il passaggio da controllo di una sola successione di note a più successioni parallele controllate verticalmente da Lévy.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- (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) T.Bolognesi, Composizione automatica: dalla musica $1/f$ alla musica autosimile, Atti C.I.M. 1979, Università di Padova.
- (3) B.B.Mandelbrot, Fractals, form, chance and dimension, (Freeman and Co, San Francisco 1977).
- (4) M.V.Mathews, The technology of computer music, (M.I.T. Press, 1969).
- (5) G.De Poli, A.Vidolin, Manuale MUSIC5, (C.S.C. Università di Padova, 1983).
- (6) M.Gardner, Musica bianca,musica scura, curve fratte e fluttuazioni $1/f$, Le Scienze agosto 1978.

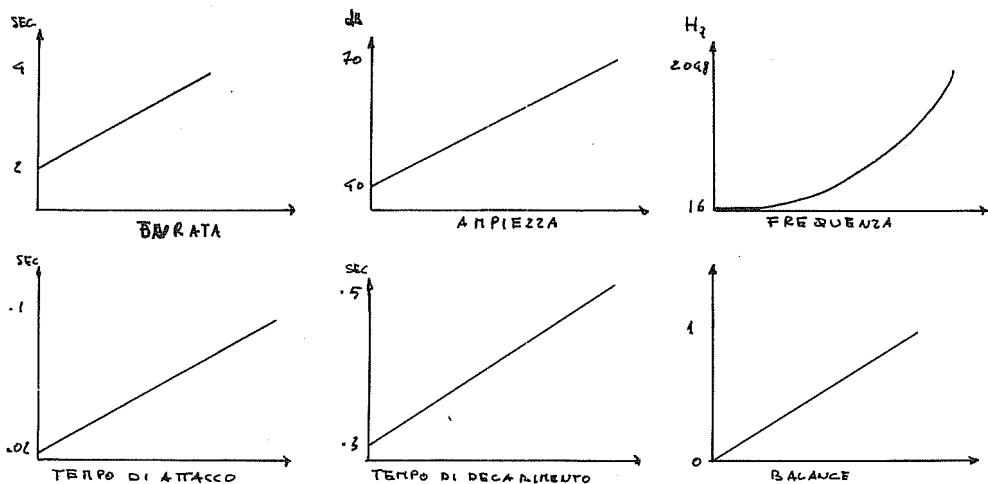
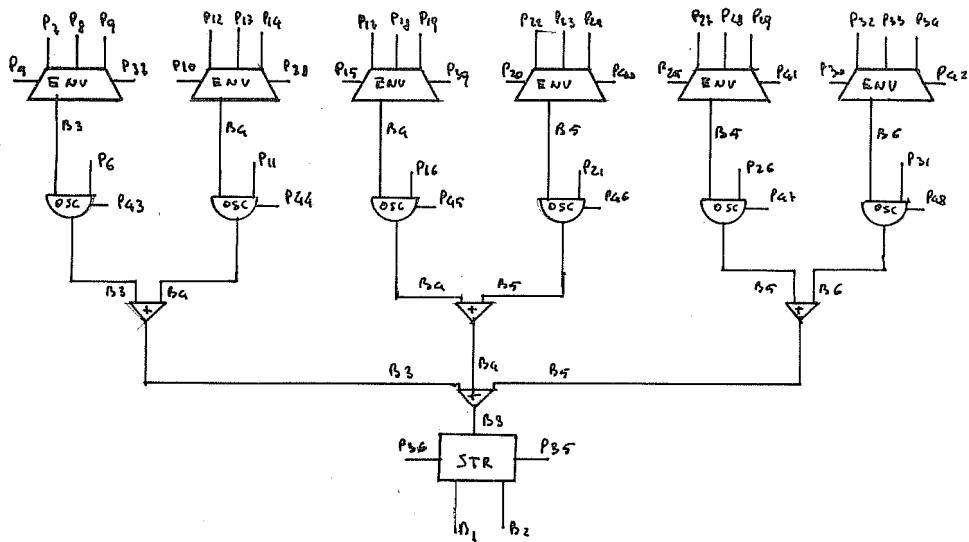
"Tav.1 volo di Lévy standard"

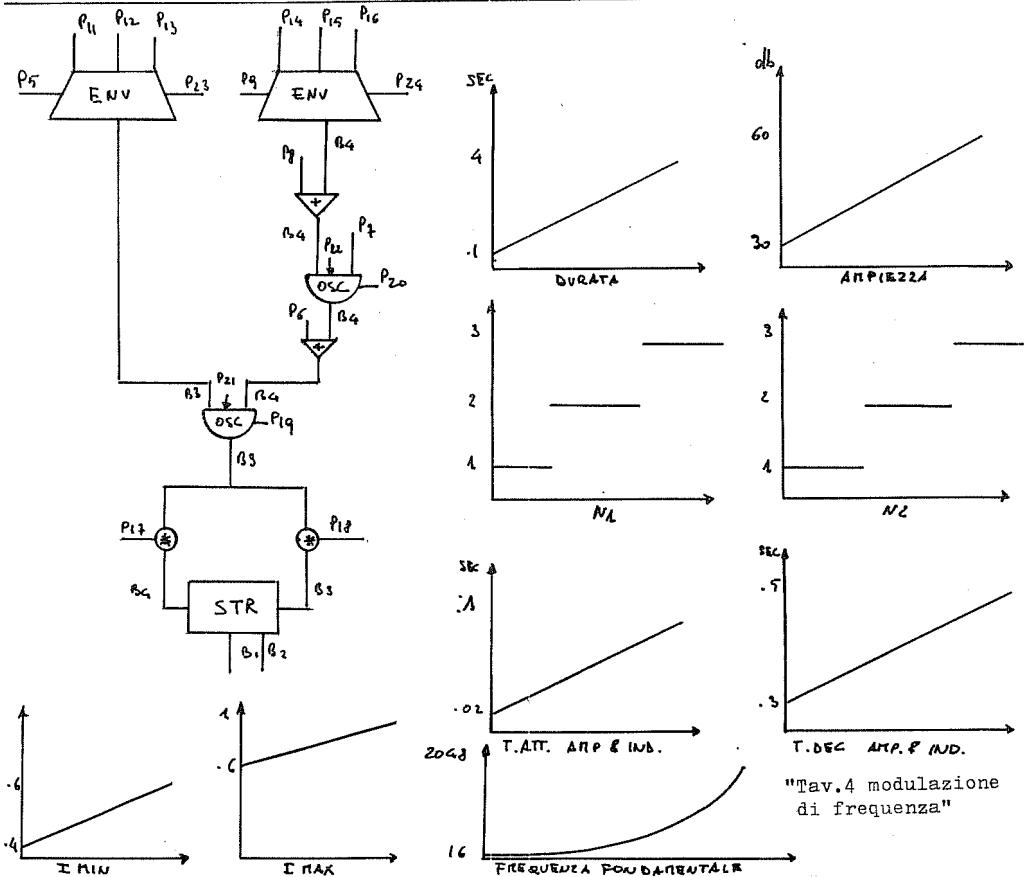
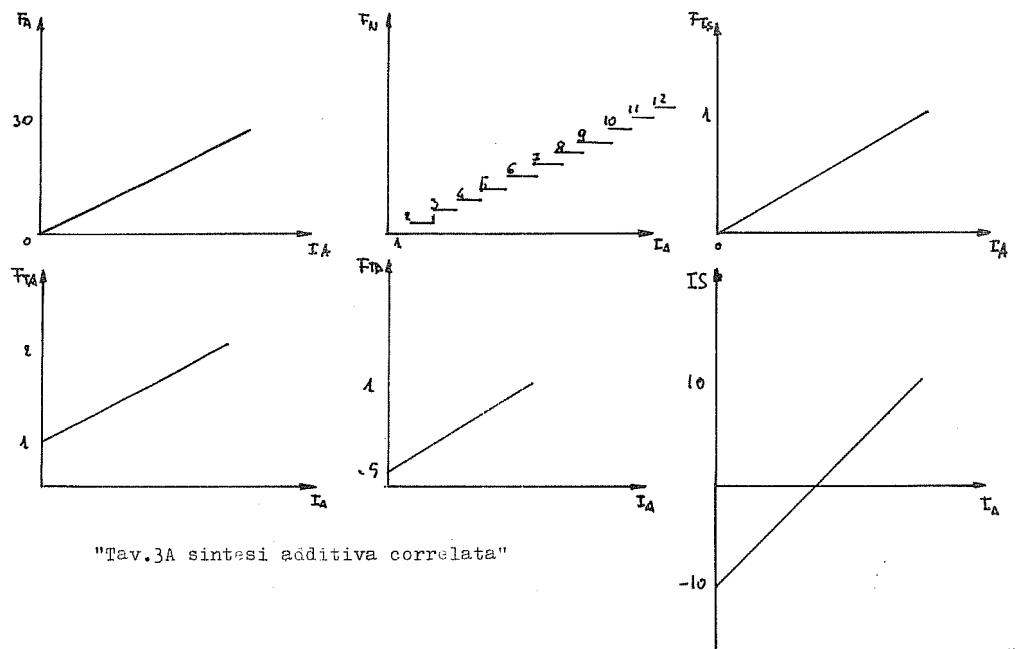


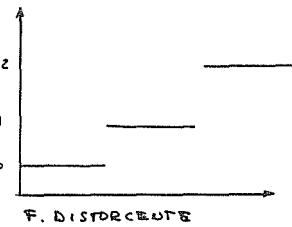
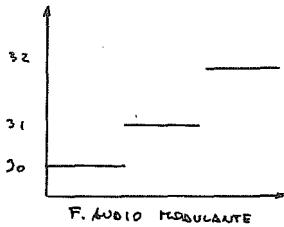
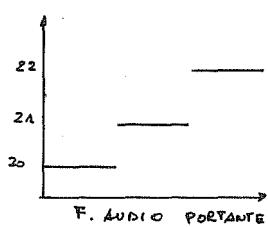
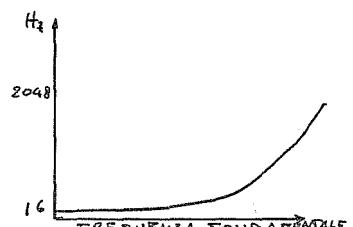
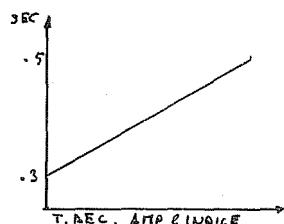
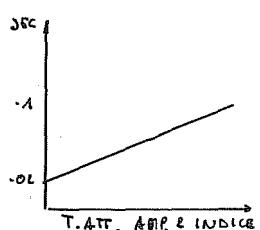
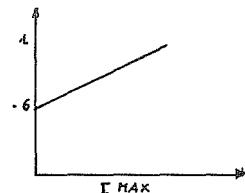
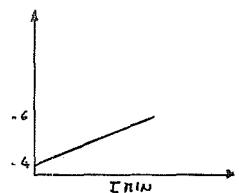
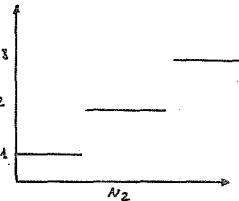
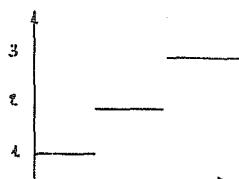
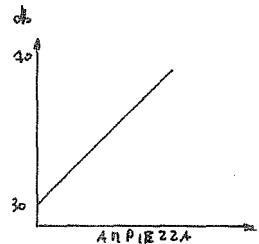
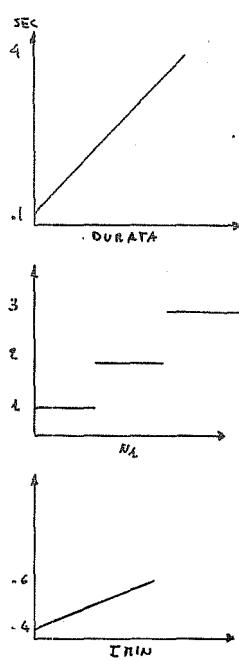
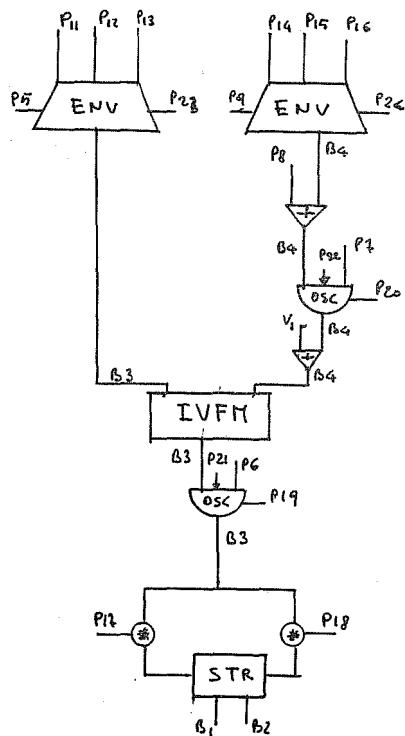


"Tav.2 sintesi pseudo granulare"

"Tav.3 sintesi additiva"







"Tev5 distorsione non lineare"

1. EDITING TOOLS: to provide a statement of what we need from and intend to contribute to the development of an intelligent, composer-friendly editing environment. The first stage of such development would involve a study of various tools already available (MIT, Buxton, Stanford, etc.) that might be used as whole or partial systems, or be adapted to our own needs. At this fundamental level we seek to define, evaluate, change, combine, classify and perfect timbral objects. To be specific this involves the following needs:
 - a. *Visual and auditory feedback are essential.* It is very important to have an excellent graphic representation of timbral objects and structures; it is most likely that a variety of interchangeable representations would be useful. Since our work method is to be based on auditory experience, it is indispensable to be able to compare a visual representation with a sonic result at any moment.
 - b. *Symbolisation at multiple levels of detail* (naming of processes, objects, qualities, etc.) would allow timbral structures to be referred to or called upon in all their complexity (worrying only about details that are essential for the present operation) at a later stage in the composition or research effort. It would be important to be able to represent an ensemble of objects that operate as a unit in the form of a conglomerate.
 - c. *Need for ZOOM capabilities* - our work process implies the ability to move from a global representation to another level, more appropriate to a particular modification or description, in a homogeneous

and flexible way. Selective modification of objects would then be stored in an easily accessible form.

2. PSYCHOACOUSTIC TOOLS: we would implement programs that allow sorting and comparing of a variety of timbral data (to the extent to which this is predictable), according to psychoacoustic principles. This implies further development and extension of existing models of the auditory transform or "internal spectrum" of the mind's ear. The goal is to use clear, but not rigid, aids to facilitate the organisation of and sensitivity to basic materials. These aids would constitute a simulation of certain aspects of the human ear; they would be in a constant state of evolution and could, in any case, be amended, refined, or "personalized" by a particular user.
 - a. *Loudness estimation* and comparison, construction of "running" loudness estimators so that such things as crescendos of unfamiliar sound structures can be quickly developed with perceptually relevant control parameters and then stored. We need to further develop notions of the apparent loudness invariance of sound structures in different musical contexts.
 - b. *Pitch estimation:* number, strength, identity, clarity of pitch content of complex, inharmonic sounds. Programs for finding patterns of pitch relations among groups of inharmonic spectra: attempts to classify and group inharmonic spectra accordingly.

- c. Develop a catalogue of "*subjective*" *timbral attributes* (brightness, roughness, attack quality, density, perceptual onset time, etc.) that aid in the intuitive manipulation of sound material.
 - d. Conceive algorithms that indicate the potential perceptual organizations of sequential and simultaneous sound structures. Such procedures would involve the implementation of existing "*grouping*" *principles* such as those derived from Gestalt psychology and more recent work. We would hope that such procedures would reflect the complex and polyvalent nature of grouping within a given musical context.
3. "ARTIFICIALLY-INTELLIGENT" TOOLS - The goal is to let the user benefit from the power of high-level description afforded when many details (of timbral description and evolution) are defined automatically by general programs. Again, we emphasize that an important part of such an environment is the ability of a user to contradict or modify any of these procedures at any point in the work process, and to work, if desired, at any level of detail. This implies a great flexibility between automated and manual operations.
- a. A *covariance* (coupling) of parameters needs to be defined by general rules of behavior. At this level, the modification of any high-level parameter has a direct and automatic influence on the re-adjustment of all other parameters in a particular sound "object".

- b. Defaults: the musical and acoustic knowledge base that we propose to encourage implies the continual acquisition of default values and controls for the maximum number of definable sound elements. These defaults describe a "normal" behavior of a particular object, and are, of course, changeable at any time.
- c. Rules for internal evolution of sounds: any complex sound structure (using any synthesis model) involves highly intricate variation over time of that sound's internal components. In most cases, a pre-established set of relationships between different partials (perhaps definable by clear and simple algorithms) would preserve sufficient richness of timbral evolution without requiring unnecessary data specification by the user.
4. GESTURAL INPUT DEVICES - Considerable discussion has taken place recently about the need for more sophisticated gestural input devices at IRCAM. We feel that the demands of timbral control might imply a different design for such devices than those that have been proposed so far. Although discrete controls will always be necessary, a flexible system for measuring continuous changes in pressure and position needs to be developed because it is most likely that complicated transitions and transformations of timbre will operate in this way and could be delicately controlled at a performance level. Besides more obvious "instruments" that have already been discussed (string simulators, track balls, spatial indicators, etc.), we propose reflection about a more radical concept that seems particularly well suited to this work: a three-dimensional timbral surface that would be sensitive to the touch, and

could either allow one to sculpt a static timbral object, or to influence the evolution over time of timbral transformations. The outputs of such input devices should be neutral in format and applicable at any level of the synthesis process.

B. An Environment of Musical Tools

This part of the project is, perhaps, the heart of the matter and is, at the same time, both the most "musical" and the most personal/subjective aspect. The goal is to allow musicians to express their ideas in the most musically intuitive way. In our minds this implies, by definition, the gradual development of firmer concepts of timbral description and organisation (on a musical level) than are presently available.

1. *Timbral library:* As part of the knowledge base that we propose to develop, we need to build a library of data describing a wide range of timbral objects, both those that resemble physical sounds and those that are more synthetic. The importance of such a library is that the user could call any of these timbres at a given moment, compare, transform and create transitions between them since they would be stored in a similar format.
2. *Context sensitivity:* Since music is an art of TIME, timbral objects are meaningless before they are given a musical context. As much as possible, we hope to develop a means of investing a certain amount of sensitivity to context in our timbral objects so that, for instance, this object would automatically adjust its behavior depending on past and future events, and on other musical elements present at a given time.

3. *Organisation*: Our tools should make it as easy as possible to compare timbral objects and processes, to define musically structural relationships between them, and to manipulate and organize our materials based on these functional decisions.
4. *Transitions*: Perhaps the most important aspect of this work is the ability to describe the way timbre changes and evolves over time. At present, our conceptual descriptions of such transitions are rather crude, and much experience needs to be gained in this area before general principles can be included in our working environment.
5. *Abstract notation*: Musical notation is important not only because it allows musicians to communicate with the outside world in a highly efficient way, but also because such notation already implies a high degree of conceptualisation and understanding of a musical system (and, of course, of musical materials). It seems equally desirable to have such a notation to input timbral information to a machine (or for that matter, express it to performers), as to have a musical representation produced by the machine itself. We see no reason why these two notations (input and output) should not be identical, or at least compatible; in addition, we feel that much of our experience with traditional musical notation can help in developing such a new notation, perhaps in a more direct way than had been imagined. (We see no reason why the output representation from a machine must or should be similar to that machine's internal representation.)

Concluding Remarks

We believe strongly that all work on timbre should originate with musical ideas, and not with constraints that are implied by a specific synthesis model or system. In fact, our goal would be to produce a system that would be completely transparent to (and would actually ignore) the particular synthesis model needed for a particular application. Eventually we would imagine an automatic choice of synthesis resources being made by the computer to produce the most correlation with a given timbral description. It is clear that all available synthesis models will find a place in our research, and that we may find the need at some point to explore new algorithms (such as physical models which have proved promising in some contexts).

We also feel the necessity of using additive synthesis for certain operations. This synthesis method allows the most careful control over individual partials, which is indispensable for much of the research and music that we envision. We will develop a powerful additive synthesis model that will be easier to use than those that are presently available. It is important that the model be capable of dynamically allocating memory and computational resources since this has always been the downfall of additive synthesis procedures in the past.

As mentionned at the beginning of this proposal, our desire is to use and adapt as many tools as are presently available. It is clear that FORMES is an environment in which to create a large part of the system that we describe, and we hope to use it as much as possible.

Several musical concepts which are already under study that we find especially promising and worthy of concerted exploration in the future are : music structures that use complex spectra as the main unifying and material-generating aspect of a composition ; spectral fusion as a means of articulating the relationship between

unity and mulitplicity of any sonic structure , a musical way of describing the organic pitch-timbre-noise continuum ; and new concepts of form that use timbre as a structural element rather than an ornament.

We emphasize again that we seek to establish an attractive environment for timbral exploration, based on the conviction that composers and scientists should spend their time listening, evaluating, and choosing on a rather sophisticated level. As we said before, although our tools will be developed around a computer environment, the goal is to deal with general musical questions which have applications in all musical domains.

Although many of the proposals presented here are specific to timbre research, we are aware that many aspects are of a more general nature and hope that these will be considered in discussions for a composer-researcher work environment at IRCAM.

May 23, 1983

**VI Sessione
AUDIOTERAPIA**

AUDIOTERAPIA: UTILIZZAZIONE DEL SUONO A SINTESI DIGITALE A FINI TERAPEUTICI

AUTORI:PIERO T. DE BERARDINIS
COSTANTINI CLAUDIO
MAURIZIO PICCININO

STUDIO DI SONOLOGIA COMPUTAZIONALE
'EDGAR VARESE'
VIA G. CABOTO,31 - 65100 PESCARA
TEL. 085/692657-65219

L'AUDIOTERAPIA viene definita nei suoi aspetti teorico-operativi quale disciplina che ha per obiettivo la strutturazione, l'applicazione e la gestione del materiale sonoro prodotto con mezzi digitali a fini terapeutici. Dopo una dissertazione iniziale sui presupposti metodologici, si passa ad esaminare il supporto strumentale utilizzato e lo schema operativo generale. Vengono successivamente esaminate, nei dettagli, le fasi risguardanti gli items timbrico-strutturali, le tecniche di estrazione ed elaborazione dei dati, il procedimento di composizione trasformazionale utilizzato per la strutturazione della sequenza terapeutica individualizzata. Sono infine tracciate le linee generali risuardanti le modalità applicative con esemplificazione nel "modello psicosomatico".

Lo Studio di Sonologia Computazionale "E. Varese" è nato nell'ottobre del 1982 in seguito alla necessità di riunire sotto un unico Centro quei compositori, ricercatori e musicologi i cui studi avessero come filosofia di base la ricerca e la produzione nel campo dell'informatica musicale per mezzo del micro-elaboratore. Negli ultimi due anni, tutta la ricerca da parte dei compositori dello Studio è stata focalizzata sull'uso del micro computer, sia lavorando su macchine regolarmente in commercio, sia progettando hardware originale di tipo digitale a basso costo.

Il campo di attività dello Studio si incentra sulla produzione e sull'analisi. Per quest'ultimo campo la ricerca è basata sull'analisi musicale e quella acustica e psico-acustica. Per quanto riguarda l'analisi musicale essa è condotta sullo studio di partiture sia di musica classica che di musica elettronica, diversificandosi, come metodo, in analisi strutturale e semiologica. Per ora è stato sviluppato un software di analisi strutturale (sul quale si effettuano continui aggiornamenti), costituito da un package di programmi denominato STRUCTURE. Per il campo della produzione, una parte fondamentale è dedicata alla sagistica, con produzione di saggi e articoli di carattere musicale, didattico e scientifico che vengono regolarmente presentati in seminari pubblici. Grande attenzione viene rivolta sia alla produzione di software ed hardware dedicato, sia alla preparazione di software su modelli matematici e di composizione pura

per la realizzazione di opere musicali. La produzione porta ad un vasto campo di applicazioni che vanno dalla Audioterapia, alla editoria, alla didattica e all'industria. Ha iniziato inoltre la pubblicazione della rivista "Quaderni di Informatica Musicale". Fanno parte dello Studio dei collaboratori fissi, esperti nel loro specifico campo, cui è demandata la ricerca e l'organizzazione in settori particolari.

1. PRESUPPOSTI PER L'APPLICAZIONE

Il fondamentale presupposto insito in un'applicazione terapeutica del suono per la modificazione della struttura comportamentale dell'uomo trae le sue origini da una duplice considerazione: la sua caratteristica di stimolo complesso afferente alle zone di codificazione e di interpretazione affettivo-cognitiva e la sua importanza come elemento fondamentale del linguaggio umano, inteso nel senso più ampio del termine.

La SENSAZIONE viene quindi ad assumere diversi aspetti: quello di illusione culturalmente determinata su uno specifico atto interno dell'organismo, basata su una variazione del comportamento, oppure, quello di attività nervosa, od aspetti di quest'ultima, provocati dallo stimolo sensitivo dopo il trasferimento attraverso le

stazioni di rilassarsi nervosi.

2. L'AUDIZIONE

In questo senso riveste un valore particolare l'AUDIZIONE intesa come esercizio della facoltà fisiologica dell'udire, come attenzione preliminare tesa a captare tutto ciò che potrebbe alterare il proprio territorio inteso come spazio della sicurezza. Cosa spinge, ad esempio, l'essere vivente (animale o umano, non ci viene dato a sapere), nel racconto di Kafka "La Tana" ad ascoltare i rumori che provengono dai cunicoli della sua tana? La minaccia, forse letale, nel suono che prelude ad un cambiamento. Nei cunicoli bui viaggia l'eco di flebili ed in/significanti mutamenti sonori, tuttavia minacciosi.

"... in siffatte occasioni mi attira di solito il problema tecnico, dopo il rumore, per esempio, che il mio orecchio è esercitato a distinguere in tutte le sfumature e che può essere esattamente registrato, me ne figuro la causa e allora sento la smania di controllare se la realtà vi corrisponde. E faccio bene perché fintanto che non ho trovato la causa, non posso neanche sentirmi sicuro, dovesse anche trattarsi solamente di sapere dove andrà a rotolare un granello di sabbia che scende da una parete. Un rumore così non è certo privo d'importanza..."

L'intreccio dei cunicoli è analogo all'intreccio concettuale di cause, effetti, retroazioni, che è fantastico nella sua complessità: "... me ne figuro la causa allora sento la smania di controllare se la realtà vi corrisponde..."

Abbiamo preferito far precedere questo breve frammento letterario perché ha come obiettivo "l'assetto" dell'ascolto, che in questo caso si associa strettamente all'insolito, al pericolo.

Sepolto sotto la realtà, il segreto celato nell'evento sonoro, non può presentarsi alla coscienza senza il tramite di un codice simbolico che serve tanto a cifrare quanto a decifrare il mormorio ininterrotto della natura, al fine di ridurne la complessità per predisporre una serie limitata di scelte-risposta, nell'illimitatezza di quelle possibili. La capacità selettiva del comportamento umano biologico-sociale, ad esempio, viene potenziata dalla riduzione delle alternative possibili, predisposta e filtrata attraverso i confini del sistema (percettivo-culturale) releggendo il grado reale di complessità (di varietà non

codificata) in uno stadio di latenza.

La complessità del mondo sonoro, inteso come insopportabile eccedenza di possibilità rispetto a quanto il nostro sistema è capace di percepire e di attualizzare, esige che il sistema debba operare come riduttore selettivo. In termini sistematici, la legge della "varietà necessaria" (requisite variety formalizzata da V.R. Ashby) comporta che un sistema è tanto più in grado di stabilizzarsi realizzando l'obiettivo della propria sopravvivenza, quanto più riesce a replicare alla "pericolosa" varietà e mobilità dell'ambiente con risposte differenziate, rese possibili dalla propria interna complessità. La stessa struttura morfologica dell'apparato uditivo ne è la conferma: "...dal punto di vista morfologico, quello più vicino alla specie, l'orecchio sembra fatto proprio per catturare l'inizio fuggevole; immobile, fermo, ritto come un animale in agguato. Come un imbuto orientato dall'esterno verso l'interno, esso raccolie il maggior numero possibile di impressioni e le incanalà verso un centro di sorveglianza, di selezione e di decisione. Le pieghe, i meandri del padiglione sembrano voler multiplicare i contatti dell'individuo col mondo, e ridurre nello stesso tempo questa molteplicità, assoggettandola ad un percorso di smistamento..." (R. Barthes).

Su questa base auditiva si fonda l'ascolto in quanto esercizio di una funzione d'intelligenza, ossia di selezione.

2.1. L'ascolto simbolico

L'ascolto è anche un sondare. Da questa finalità arcaica legata all'ascolto trae origine la matrice magico-religiosa ad essa legata. "...ascoltare è il verbo evangelico per eccellenza, la fede è tutta ricondotta all'ascolto della parola divina e attraverso l'ascolto l'uomo si lega a Dio." (R. Barthes). Non appena la religione si interiorizza, con l'ascolto si sonda l'intimità, il segreto del cuore: la colpa, il peccato.

I passi minacciosi di Dio ascoltati da Adamo dopo il primo peccato preludono alla punizione. Fuori dal Paradiso di un'armonia perduta, in un Mondo ostile, mutevole, l'ascolto esisterà solo a patto di accettare il rischio della sfida. Come Ulisse legato all'albero maestro non può "godere dello spettacolo delle sirene, senza rischio e senza accettarne le conseguenze" (Blanchot).

Il potere soggiogante, taumaturgico del suono, e' la sostanza stessa della sfida. Il suono e' l'espressione materiale dell'idea cosmica del sacrificio, secondo la quale il mondo nacque dall'espiazione di un suono-luce, la cui "frizione" (sacrificio) creò gli dei e le stelle. L'idea che la materia sonora possa essere generata solo dalla lotta, dalla mortificazione e dal sacrificio, domina tutta la produzione sonora religiosa delle culture primitive. L'idea stessa di "armonia" affonda le proprie radici nell'idea di un ordine derivante da un conflitto. "Gli uomini non sanno come cio' che e' discorde e' in accordo con se': armonie di tono opposte, come quella dell'arco e della lira." (Eraslito).

Armonia dialettica dei contrari: con il rumore e' nato il Caos e il suo contrario: il Cosmo. La concettualizzazione da parte dei pitagorici di un Cosmo ordinato e' la premessa per l'indagine scientifica: la linea di demarcazione fra una conoscenza mitica e una razionale. Il continuo del Caos - che nella mitologia greca primitiva era una delle fisionomi con le quali si cercava di dare una risposta al problema della genesi delle cose - discretizzato in un Cosmo, pone e' ritrova nelle vibrazioni del monocolo il suo fondamento metodologico-scientifico. Prodotto antropomorfo la sintassi sonora pitagorica e' l'unione fra il cielo e la terra, tra il Caos e il Cosmo. Macchina in equilibrio, in armonia, la potenza sonora controllata diventa quindi fonte di progetto, d'indagine, di creazione. Promessa di riconciliazione tra l'ordine naturale, divino, e quello costruito, ragionato: umano. All'interno di questa interazione (tra materiale sonoro e la sua messa in sistema) il gioco delle armonie musicali si costituisce come elemento strategico di un gioco combinatorio, di un linguaggio, la cui finalita' non e' soltanto di informare ma anche di convincere.

In questo senso il suono codificato diviene un operatore di spettacolo in grado di mettere in scena tutte le risorse del gioco retorico. Aristotele stesso e' stato il primo a rilevare il potere della Musica e del suo articolarsi sull'anima umana: "si direbbe che c'e' qualche affinita' tra le armonie e i ritmi dell'anima; ragione per cui molti sapienti dicono che l'anima e' armonia o che l'anima ha armonia" (Aristotele, Pol., VIII).

Vera forza, la musica e le passioni ad essa inscritte si proiettano sulla società modellando i comportamenti e la comunicazione, "macchina retorica" in grado di articolare a fini persuasivi il

proprio materiale espressivo.

Non vi e' affezione dell'anima che la musica non possa rappresentare (Cartesio). Sofisticato rapporto di analogie in cui tutte le passioni possono avere un equivalente musicale in quanto schermo protettivo, sostituto di un conflitto obliterato, che si situa nel rapporto generale natura-cultura.

2.2. Lo studio psicofisico

E' da tener presente, pero', che non vi e' un significato intrinseco assoluto nel rapporto stimolo risposta, dal quale derivare l'importanza nell'insieme della sensazione. Si dovrà sempre tener presente, pero', che il suddetto significato spesso costituisce la condizione "sufficiente" per la sensazione stessa.

Per la dimostrazione che certi fenomeni nervosi sono la condizione "necessaria" o sono "la" sensazione, si rende indispensabile uno studio psicofisico profondo per dimostrare l'eventuale parallelismo tra le modificazioni dei due parametri: stimolo - sensazione.

Da queste affermazioni derivano sia la necessita' di uno studio approfondito della sensazione sonora come stimolo fisico che assicue su una struttura ricettoriale specializzata, derivandone una risposta comportamentale, sia la necessita' di una analisi della risposta finale, come ultimo snello di una serie di azioni nervose reciproche.

Da quanto sinteticamente esposto possono cosi' definirsi i "sottoinsiemi" utilizzabili nello studio della sensazione sonora:

- SENSIBILITA' MUSICALE - quale inserimento dello stimolo sonoro come elemento percettivo nello schema di strutturazione culturale dell'individuo.

- INTERAZIONE SOMA-PSICHE - non piu' come quadro fisiopatologico, ma come metodo di approssimazione e di valutazione della globalita' dell'essenza umana, superando la distinzione dicotomica corpo-psiche.

- OPERAZIONISMO DI BRIDGMAN - come riconoscimento dell'esistere nell'attività stessa dell'uomo, e, quindi, come possibilita' di studio delle componenti essenziali strutturali.

- MODELLO MATEMATICO ED ELETTRONICO - come utilita' dei modelli di produzione, senza, pero', mirare alla realizzazione antropomorfica, ma solo studiando delle componenti essenziali dell'attività umana.

La corretta applicazione di queste ipotesi crea una vasta problematica, non essendo definite le opzioni fondamentali di base per

Parte della "sensazione", che verrà potenziata e filtrata a livello mesencefalico, riverberata sulla corteccia e ritrasmessa nei fasci efferenti somato-viscerali.

Su questo contesto s'inseriscono, poi, le interrelazioni corticali frutto del particolare aspetto comportamentale del soggetto e delle particolare omostasi biochimica in quella situazione ed in quel momento temporale.

La verifica dell'effetto somato-psichico frequenziale non può prescindere da osservazioni esploranti tutti gli step frequenziali possibili ed ai vari livelli di interrelazione, senza considerare la strutturazione fenotipica sociologica, ma l'operatività del sistema, avendo lo scopo fondamentale nella ricerca timbrico-strutturale, ha reso necessaria la riduzione del campo delle varieabilità a tre range frequenziali normalizzati, con due procedimenti diversi considerando dapprima una misurazione su scala a rapporti equivalenti (tramite registrazione delle variazioni ECG all'ascolto) e su scala ad intervalli equivalenti (attribuendo una scala di puntaggio alle risposte comportamentali).

Inoltre, l'esistenza dell'assuefazione sonora con scomparsa della "risposta di orientamento", condiziona la necessità di presentazioni random controllate con caratteristiche di variazioni minime nell'ambito del range di frequenza considerata.

Dopo aver valutato statisticamente la significatività dei dati osservati, si sono definite tre categorie:

- a) RB (Regione Bassa)
- b) RM (Regione Media)
- c) RA (Regione Alta)

5.4.2. Categorizzazioni delle sensazioni

La definizione di sensazione percepita all'ascolto non può prestarsi ad una misurazione su scala diversa da quella nominale, come frequenze di osservazioni e non come misure d'intensità quali potrebbero essere derivate da strumenti atti a rilevare variabili di natura fisica (come onde EEG), ma che necessiterebbero di un campionamento di popolazione più vasto di quello da noi osservato.

La specificazione dei parametri si è ottenuta estraendo dalla massa delle definizioni libere prodotte dai soggetti all'ascolto, con un totale di 18.476 dati, un campione

lineiasticamente definito di 2.356 dati suddivisi in 18 indicatori valutati nella loro significatività con l'espressione in termini probabilistici con l'uso dell'indice di Pearson (chi-quadrato).

Dai 18 indicatori iniziali se ne sono estratti undici, che vengono utilizzati come termini di riferimento negli items audioterapeutici ed ai quali si fa riferimento per tutte le fasi terapeutiche.

Naturalmente, ogni indicatore di sensazione, non ha un suo valore assoluto, numericamente parlando, ma ha un valore approssimativamente assimilabile ad un assoluto linguistico con una propria atterribilità orientativa di categorizzazione di riferimento per il soggetto sottoposto all'item.

5.4.3. Intensità di livello.

Si è resa necessaria anche la specificazione dell'intensità di sensazione, non con riferimento a scale su dati fisici, ma con l'uso di scale ordinali, cioè il più basso livello di misura qualitativa che permetta verifiche statistiche sofisticate, con lo stabilire un ordine tra le ripartizioni che vengono effettuate.

I livelli sono da 1 (uno) a 5 (cinque), sfruttando il simbolo numerico non come indicatore diretto di quantità, ma solo come indice di una relazione di ordine tra le quantità.

E' ovvio che la misurazione di parametri quali onde EEG, tracciati ECG o EMG, permetterebbe di strutturare in scale a rapporti equivalenti i dati, ottenendo così una misura della modificazione psicofisica più sofisticata.

La misurazione del tracciato ECG da noi utilizzata per la categorizzazione degli indici di sensazione (5.4.2.) non si è rivelata, alla verifica statistica, in grado di definire una simile scala di rapporti di intensità di sensazione, e ciò lo si poteva prospettare teoricamente, tenendo presente la limitatezza del fenomeno efferente neurovegetativo modificatorio della frequenza cardiaca in rapporto alle complesse interferenze site ai vari livelli biologici del comportamento. Solo da una registrazione Poligrafica in tempo reale si potrà derivare una scala quantitativa efficace per l'intensità di sensazione.

6. ITEMS TIMBRICI

La definizione delle onde utilizzate

AUDIOTERAPIA

negli items parte dai seguenti presupposti teorici:

a) le forme d'onda devono essere tutte presenti, per cui, necessariamente si sono usate: sinusoide, quadra, triangolare, dente di sega (oltre al rumore bianco).

b) la scelta delle armoniche condiziona la forma d'onda e quindi il timbro. Il sistema permette 24 armoniche. Naturalmente, per la sinusoide, il problema non esiste dato che è la forma d'onda base.

c) i rapporti degli elementi costitutivi le onde diverse dalla sinusoide sono:

- QUADRA - Armoniche infinite;
- Ordine fra le armoniche:

1,3,5,7,... in fase tra loro;

- Le frequenze, per ogni ampiezza devono essere: 50,150,250,350...;

- Le ampiezze devono essere: 1, 1/3, 1/5, 1/7,

- TRIANGOLARE - Ordine fra le armoniche:

1, 3, 5, 7... con al-

terenza di fase;

- Frequenze: 50, 150, 250,
350...;

- Ampiezze: 1, 1/9,
1/25,

1/49... .

- DENTE DI SEGA - Ordine fra le armoni-

che: 1, 2, 3, 4,

...;
- Frequenze: 50,
100,

150, 200...;

- Ampiezze: 1, 1/2,
1/3,

1/4,... .

Solo le frequenze sono esempi, cioè valori non indicatori di rapporto matematico.

d) Si rende necessaria la ricerca di una eventuale correlazione matematica fra i quattro tipi di forme d'onda, con il collegamento al campionamento su soggetti per l'accettazione o lo scarto delle armoniche campionate, rivolgendo l'attenzione non al riconoscimento specifico delle componenti lo stimolo, ma alla sensazione di differenza (problema della discriminazione).

Da questi presupposti si sono derivate le seguenti indicazioni per la preparazione in random controllato delle onde:

1) sinusoide - Unica e senza

Possibilità di modificazione.

2) quadra - Mantenimento costante del rapporto tra le armoniche (1, 3, 5, ..., max 23) con ampiezza 1, 1/3, 1/5, 1/7, ..., max 1/23 per n. 10 (dieci) onde quadre diverse.

3) triangolare - Rapporto costante (1, 3, 5, 7, ..., max 23) in fase od in opposizione di fase per n. 10 (dieci) onde triangolari diverse.

4) dente di sega - Sia con armoniche in fase, che in opposizione di fase e con armoniche pari o dispari per n. 10 (dieci) onde diverse.

5) rumore bianco - Unico tipo di onda.

Il totale di 101 forme d'onda, somministrate nei tre range frequenziali RE, RM e RA, non variando i rapporti fra le armoniche e la fase, variando le ampiezze tra le armoniche con step 50, ha determinato, nei 50 soggetti e con 5 ascolti per ogni forma d'onda, un totale teorico di 25.250, ed un totale effettivo di 18.476 dati, dai quali si è estratto un campione di 1068 dati. La caratterizzazione del campione fa riferimento alla definizione statistico-inferenziale, considerandolo come l'insieme degli elementi che presentano tutte le caratteristiche della popolazione di origine.

Dal campione sono state estratte, graficamente, le onde in esso contenute e raggruppate per classi, valutandone l'attendibilità statistica mediante l'indice di adattamento di Pearson. La successiva categorizzazione ha permesso di poter considerare 20 onde numerate progressivamente che è stato possibile classificare, in rapporto alle onde base, come segue:

- Sinusoide : W/8

- Quadra : W/3, W/18, W/20

- Triangolare: W/1, W/2, W/4, W/5, W/7, W/16, W/19

- Dente di sega: W/6, W/9, W/10, W/11, W/12, W/13, W/14, W/15

- Rumore bianco: W/17

7. ITEMS STRUTTURALI.

Tenendo presenti le considerazioni precedentemente esposte (5.4.1.), si è dovuto affrontare una necessaria categorizzazione per quanto riguarda la scelta delle strutture da inserire negli items diagnostici.

Il problema si configura in modo

estremamente complesso, tenendo conto che dai presupposti metodologici si deriva la necessita' di somministrare ai 50 soggetti in esame il numero maggiore di strutture rappresentativamente valide dal punto di vista statistico. Cio', inoltre, presuponeva che tutti i quattro elementi costitutivi di una struttura (attacco, decay, sustain, release) fossero presenti in modo variabile, ma attendibile. Tutto cio', infine, presupponendo una standardizzazione accurata delle variabili circostanziali e prettamente biologiche.

Il sistema operativo scelto per l'applicazione pratica dell'audioterapia non permette un'analisi accurata di tutte le possibili varianti, in tutte le possibili variazioni, anche applicando metodi di analisi multivariata. La normalizzazione, prima concettuale, poi operativa delle variabili, ne comportera' l'assunzione di un certo numero come modificabili entro range di approssimazione standardizzata, isolandone alcune dal contesto di ricerca.

La popolazione delle osservazioni derivate dai 50 soggetti ha contribuito con 18.476 dati, dai quali sono stati estratti 2317 dati costituenti il campione. Nell'ambito della popolazione, si sono riscontrate strutture ad attacco iniziale pari al 64,12% e strutture a decay iniziale pari al 35,88%. Le proporzioni riguardanti il campione, con riferimento agli stessi parametri, sono rispettivamente 63,01% (1460 strutture ad attacco iniziale) e 36,99% (857 strutture a decay iniziale). La valutazione delle risposte ha condotto ad assumere questi valori come attendibili e rappresentativi dell'ipotesi iniziale riguardante una generale categorizzazione dei parametri strutturali.

La successiva discriminazione per elementi costitutivi ha portato alle seguenti scelte di parametri, con i valori riferiti ad un sistema ad 8 bit (valore max \$ff ESA):

a) Strutture di attacco n.20, con valutazione di: Valore massimo (60, 80, 90); Step d'attacco (2, 5, 15) oppure Permanenza di attacco (da 1 a 5); Sustain (0, 20, 50, 100, 200); Release (step -1, -2, -5, -max); Bytes totali (variabili da 6 a 521).

b) Strutture di decay n.10, con valutazione di: Valore massimo (100/0, 100/20, 60/0, 60/20); Step di decremento (-1, -5, -10); Sustain (0, 20, 50); Release (step -1, -5, -10); Bytes totali (variabili da 7 a 112).

Si sono cosi' derivate le trenta strutture che vengono utilizzate negli items audioterapici di seguito caratterizzate singolarmente assumendo a titolo esemplificativo, come parametro di definizione, il valore massimo:

1) STRUTTURE AD ATTACCO INIZIALE.

- Valore max : 60

```
n.2 :-P + R(max)
n.3 :-s(2) + R(-2)
n.4 :-P + R(-2)
n.5 :-s(1) + R(1)
n.6 :-s(1) + R(max)
n.7 :-P + S(20) + R
      (-1)
n.8 :-P + S(20) + R
      (Max)
n.9 :-s(1) + S(100)
      + R(-1)
n.10 :-P + S(100) +
      R(-2)
n.11 :-s(1) + S(100)
      + R(-1)
n.12 :-s(1) + S(100)
      + R(max)
n.13 :-s(5) + R(max)
n.14 :-s(5) + S(20)
      + R(-5)
n.15 :-s(5) + S(200)
      + R(-5)
n.16 :-s(5) + S(100)
      + R(-1)
n.17 :-s(5) + S(200)
      + R(max)
n.18 :-s(15) + R(max)
```

- Valore max : 80

```
n.1 :-P + R(-1)
```

- Valore max : 90

```
n.19 :-s(15) + D1/2
      (45) + S(100)
      + R(max)
n.20 :-s(5) + D1/2
      (45) + S(50) +
      R(-2)
```

2) STRUTTURE A DECAY INIZIALE.

- Valore max : 60

```
n.22 :-s(-1)
n.24 :-s(-5)
n.25 :-s(-10)
n.26 :-D 20(step -1)
      + S(50) + R
      (-1)
n.27 :-D 20(step -1)
      + S(20) + R
      (-1)
n.29 :-D 20(step -5)
      + S(50) + R
      (-1)
```

AUDIOTERAPIA

```
n.3o :-D 20(step -5)
+ S(20) + R
(-5)
```

- Valore max : 100

```
n.21 :-s(-1)
n.23 :-s(-5)
n.28 :-D 20(step -5)
+ S(50) + R
(-1)
```

8. MODULI COMPOSITIVI E COMPOSIZIONE TRASFORMATOZNALE.

La definizione di modulo compositivo deve intendersi come processo di sintesi che vede la interazione e sviluppo nel tempo del criterio di "variante stabile" o "invariante dinamica". Tali termini, se a prima vista possono sembrare contraddittori, ad una attenta analisi dei procedimenti alla base della sintesi modulare, procedimenti derivati dalla teoria della composizione trasformationale, rivelano un'intima coerenza ed una perfetta adattabilità agli scopi per i quali tale tipo di composizione è stata ideata.

Alla base del processo di sintesi compositiva degli elementi ricavati dagli "items" d'analisi, esistono attualmente quattro "funzioni interattive" o "moduli", ognuno dei quali presenta delle proprie caratteristiche che lo rendono diverso, operativamente e costituzionalmente, dagli altri.

Scopo dei moduli è quello di fondere, mediante opportune regole operative, gli elementi timbrici e strutturali (intendendo qui le funzioni di inviluppo di ampiezza durata) e frequenziali in un prodotto sonoro in cui non esista, pur nella variazione e nella diversa disposizione delle parti, un sia pur minimo prevalere di un elemento rispetto agli altri, utilizzando allo scopo una serie di procedimenti matematici che, prevedendo lo sviluppo del "continuum" in base a precise derivazioni dal primo elemento utilizzato, prendono il nome di composizione trasformationale. Si tratta, in sostanza, di un procedimento che permette la "massima varianza nell'invarianza" o, meglio, il controllo assoluto sugli elementi in una aleatorietà pre-definita.

Per meglio analizzare il processo, verrà descritto innanzitutto il processo di trasformazione, per giungere quindi al quadro sintetico dei Moduli I-IV.

Il processo di trasformazione può essere inteso come una permutazione di elementi semplice o

complessa. La trasformazione semplice prevede un SET iniziale di n elementi (COMMA) che, per semplicità, limiteremo in questo esempio a 3:

A . B . C .

I comma non hanno un carattere individuale ben definito: potrebbero essere frequenze, timbri, strutture od altro, ogni comma assumendo un valore sostanzialmente diverso in quanto a qualità ma non a quantità, che dovrà essere sempre identica per ogni tipo di elemento. In ultima analisi, non è possibile avere due timbri in un set di 3 elementi, ma avremo sempre 3 timbri, o 3 strutture o un timbro, una struttura e una frequenza. Essendo questo il set più semplice, questi 3 elementi dovranno sempre essere presenti almeno con una unità in un set definito. Cioè che rende estremamente interessante il set e la presenza di un elemento non definito a priori (VAR) che indicheremo con { # } :

A . B . C . *

Il set così composto è detto BASE. In una base il var occorre sempre l'ultimo comma (nel nostro esempio comma 4). La base rimane identica a se stessa per tutto il periodo di sintesi. Essa viene definita dall'utente all'inizio di ogni modulo e quindi sviluppata secondo il seguente procedimento:

Estratta la base, il cui numero di comma sarà relativo agli elementi individuati dagli "items", il computer sceglie una prima permutazione casuale della stessa, eliminando quelle in cui appaiono ripetizioni di comma (permutazione ordinata). Supponiamo di avere la seguente:

B . * . C . A

Questa permutazione (OPERATORE) viene posta al di sotto della base in coincidenza di elementi, costituendo il GRUPPO:

A . B . C . *

B . * . C . A

Indicheremo sempre il gruppo fra parentesi quadre e la permutazione singola tra parentesi graffe. Dopo aver estratto l'operatore, il computer estrae una successiva permutazione ordinata (OPERANDO). Ad esempio:

C . B . # . A

Anche l'operando viene posto al di sotto della base, andando a formare un secondo gruppo:

A . B . C . # A . B . C . #
 *
B . # . C . A C . B . # . A

A questo punto, il computer esegue il procedimento di trasformazione, indicato con il simbolo '*'. Il procedimento di trasformazione estrae un nuovo operando dai due gruppi precedenti, trasformando il gruppo 2 in operatore e continuando il procedimento fino alla chiusura dell'ANELLO. Ecco in sintesi il procedimento di trasformazione: iniziando dal primo comma dell'operatore, si verifica la sua posizione nella base del gruppo 2:

A . B . C . # A . B . C . #
 *
B . # . C . A C . B . # . A

Il comma dell'operando immediatamente al di sotto del comma individuato nella base sara' il risultato del primo processo di trasformazione ed andra' ad occupare il comma 1 del gruppo 3:

A . B . C . #
B .

Si procede similmente per gli altri comma, sino ad ottenere la seguente:

A . B . C . #
B . A . # . C

Si e' ottenuta in tal modo una permutazione non casuale derivata dal procedimento di composizione adottato nella sintesi dei GRUPPI. L'elaboratore procede nella trasformazione sino a verificare che la sintesi tra OPERATORE 1 ed OPERANDO i consenta un anello in cui i gruppi non siano inferiori al numero degli elementi che costituiscono ciascuna permutazione (VAR escluso). Cio' ad evitare che vi sia preminenza di funzioni rispetto al numero complessivo degli elementi ricavati dagli "items". In caso contrario, l'elaboratore estrae altre permutazioni e procede alla trasformazione, sinche' tutte le

condizioni non siano soddisfatte. Sviluppa quindi la composizione seguendo le direttive di COMP 2.

Un anello perfetto si chiude quando viene ripetuto il gruppo contenente l'OPERATORE 1. In questo procedimento non esistono anelli imperfetti: l'unico problema e' dato dalla verifica della proporzionalita' tra comma e gruppi. L'anello piu' complesso che e' possibile ottenere consta di 16 gruppi completi.

Ogni gruppo semplice (3 elementi ed 1 VAR) costituisce un ciclo con durata variabile relativa alla struttura di ampiezza - durata ed il Modulo utilizzato. Il ciclo piu' breve ottenibile e' di circa 2 sec, mentre quello piu' lungo non supera i 20 secondi.

Il procedimento che abbiamo analizzato e' alla base di tutti i moduli compositivi. Esso consente una variazione degli elementi di base nella permanenza degli stessi, utilizzando il VAR quale elemento discretizzante e assicurante la percezione degli elementi priva di associazione. Cio' che distingue in realtà i moduli tra loro e' il diverso valore assegnato al VAR. Questo elemento, infatti, influenza posizionalmente la struttura trasformazionale, inserendo caratteristiche di base proprie ad ogni Modulo.

Se l'invarianza e' assicurata dalla sintesi '*', la necessita' di ottenere condizioni basali diverse per ogni Modulo e' l'essenza stessa del processo di funzione interattiva degli elementi in ambiente musicale. In base a quanto detto precedentemente, appare chiara la necessita' di avere costanti di riferimento ben determinate in rapporto a precise esigenze terapeutiche. Da qui la differenziazione dei moduli in 4 operatori VAR posizionali assumenti valore diverso e nello stesso tempo coerenti alla logica modulare rispetto ai seguenti termini funzionali:

- a) prevalenza di attacchi a ster variabile;
- b) prevalenza di decay - release a ster variabile;
- c) neutralita' d'intervento;
- d) alta variabilita' strutturale.

Il punto "a" (MODULO I) prevede una struttura armonica determinata dal procedimento di trasformazione applicato in senso verticale, nella quale la variabile VAR assume caratteristiche correlate ai comma ad essa vicini, trasformando il

AUDIOTERAPIA

tessuto armonico basale in corrispondenza temporale in una strutturazione d'attacco a step pre-determinato ed inclusa nei parametri VAR trasformazionali. Si ottiene in tal modo una "texture" nella quale gli elementi di derivazione "item" si muovono autonomamente in una imprevedibile sequenza nella quale i gruppi connettivi non pongono incertezze, non creano tensioni, non determinano squilibri.

Il MODULO III, al contrario, produce una notevole tensione di fondo data dall'apparire improvviso ed imprevedibile di gruppi ad alta incidenza di variabilità in una "texture" statica con VAR dai valori non correlati agli elementi di derivazione "item". Modulo indicato in tutte le fasi terapeutiche quale stimolante del processo attentivo ed in previsione di fasi affermative.

Il MODULO III è un modulo nel quale gli elementi della base neutra (texture) sono diretti corrispondenti degli elementi a derivazione "item". La composizione trasformazionale alla base del terzo modulo è forse la più complessa poiché prevede l'applicazione delle procedure di sintesi agli elementi basali in rapporto al complesso strutturale tra gruppi di elementi d'estrazione "item". Uno schema tipico di tale procedimento potrebbe essere il seguente:

```
X . Y . Z . *      X . Y . Z . *
*  
--->  
Y . Z . * . X      * . X . Y . Z
```

```
*          *
```

```
X . Y . Z . *      X . Y . Z . *
*  
--->  
Z . * . X . Y      X . Y . Z . *
```

```
*          *
```

```
• • • • •      • • • • •
*  
--->  
• • • • •      • • • • •
```

E' evidente che i criteri di selezione vengono effettuati anche nel procedimento armonico, rispettando in tal modo il principio di "invarianza", di "snello" e di "varianza". Il MODULO III è il classico modulo della staticità, nel quale però' più grande è'

l'effetto complessivo degli elementi utilizzati. Un modulo indicato per fasi finali (induzione; affermazione) o per accentuare in modo esasperato determinate situazioni comportamentali.

Il MODULO IV ad alta variabilità strutturale prevede un uso del VAR atipico, al di fuori della corretta procedura trasformazionale. Il valore ad esso assegnato è all'inizio casuale e determinante è esclusivamente la posizione di comma. Casualità legata direttamente alla scelta frequenziale - strutturale di un ciclo con successiva procedura di trasformazione nella composizione. Modulo ad alta dinamicità, consente una presenza moderata degli elementi fondamentali, attenuando, pur nella grande varianza degli elementi, l'azione di quelli. Modulo necessario, quindi, nelle fasi generali ad effetto rilassante e calmante e nei casi di reazione abnorme a determinate fasi.

In sostanza, il criterio di modularità non si esaurisce nelle derivazioni proposte ma amplia il proprio significato in rapporto alle variabili socio - ambientali, semantico - culturali e matematico - timbriche: essendo moduli dinamici ad alta risoluzione melodico - armonica a varianza controllata, la definizione di nuovi schemi compositivi è semplificata dalla possibilità di agire all'interno stesso del criterio modulare, individuando nei significati VAR e nella gestione funzionale dei GRUPPI caratteristiche ben precise suscettibili di applicazione nei casi più particolari.

9. FASE ESECUTIVA.

Si può ora iniziare la trattazione della procedura applicata per la raccolta dati.

La somministrazione degli elementi timbrico - strutturali viene effettuata in sedute di un'ora, esploranti le successioni di onde, proposte in random controllato, nei tre range frequentziali e con cinque ascolti per ogni range.

I dati espressi dal paziente in forma verbale, sono da lui stesso immessi nel computer utilizzando appropriati comandi su tastiera, con opportuno mascheramento dei tasti superflui, per eliminare l'inquinamento, per ora non valutabile, indotto dall'afferenza percettivo - ottica costituita dalla tastiera stessa.

Il paziente può disporre di due risposte in riferimento agli indici di sensazione precedentemente definiti.

Non si e' voluto definire il numero delle onde per ogni seduta, data la variabilita' del tempo di risposta allo stimolo. Proprio questa variabilita', espressa in secondi, viene considerata come ulteriore parametro di verifica dell'attendibilita' delle risposte. Inoltre, le possibili forme di derivazione poligrafica, o comunque strumentale, registrate in tempo reale, vengono utilizzate quale verifica dell'adattamento del soggetto all'ipotesi teorica generale e quindi considerate statisticamente. Sono derivativamente trattate per la verifica dell'item timbrico quale indice di modificazione bioelettrica / neurovescetativa corporea.

La metodica di immissione dati cestita dal paziente, presuppone una seduta di prova iniziale, a soggetto non informato della non utilizzazione dei dati a scopo terapeutico, per l'eliminazione dell'effetto di disturbo della non familiarita' con la tastiera. Inoltre, si forniscono dati comportamentali del paziente al terapeuta.

Un'identico procedimento di "fruizione/registrazione/immissione" dati si verifica per le trenta strutture.

I migliori procedimenti di registrazione dei parametri fisici sono, a tutt'oggi, costituiti da:

- ECG come valutazione delle influenze mediate sia da strutture a rapida azione eferente orto/parasimpatica, sia come risposta con latenza variabile a modificazioni di ordine biochimico/ormonale e somatosiciche.
- EMG come derivazione di modificazioni di potenziale dei muscoli periorbitari e masseteri quale indice sufficientemente attendibile delle stesse alterazioni suddette.
- EEG come forma di modifica del sistema percettivo mediante la registrazione dei potenziali di campo lontano provenienti dalle diverse cellule nervose attraverso il cammino dai recettori cocleari alle strutture corticali.

Naturalmente possono essere utilizzati altri numerosi metodi di derivazione di informazioni dal paziente, ma il tiro di indice di riferimento si deriva dalle primitive esigenze dello schema operativo, con tutte le possibili gamme di variabilita' permette non solo dall'uso del micro per la strutturazione e la fruizione del suono, ma anche, ovviamente, dalle caratteristiche di versatilita' operativa. Non ultime, le esigenze del terapeuta o del ricercatore.

Tutto cio' deve mirare ad un triplice ordine di livello di analisi:

- costituzione di un quadro tecnico-psicologico per il singolo individuo in esame;
- valutazione dell'esistenza o meno di tipologie tecnico - psicologiche standard riferite a gruppi omogenei di soggetti esaminati;
- analisi a feed-back dell'azione del terapeuta stesso.

10. ELABORAZIONE DATI.

Dalla serie di items si devono estrarre dei parametri di reimmissione che varieranno a seconda delle esigenze del terapeuta e che verranno organizzate in schemi terapeutici codificati.

Si costituisce cio' che e' stato chiamato "Profilo parametrico del paziente", come rappresentazione simbolica del materiale estratto e valutato statisticamente nella sua significativita' con metodi di analisi bivariata o multivariata.

I parametri necessari sono racchiusi in uno schema detto CRONOLOGICO e sono cosi' definiti:

10.1. Definizione ed indicazione delle ONDE
Come numero complessivo di esse, nome ovvero pagina di locazione di memoria e come valore delle varie onde.

10.2. Definizione ed indicazione delle STRUTTURE.

Sempre come numero complessivo e nome della struttura.

10.3. NUMERO DEI CICLI.

Definito come numero variabile relativo alle quantita' complessive di onde e strutture in fase item.

10.4. ONDA BASE NEUTRA.

Come nome e valore di quell'onda che nell'ambito del primo indice di ogni fase terapeutica ha dimostrato il maggior potenziale evocativo.

10.5. SFASAMENTO.

Basandosi sulla globalita' dell'effetto che si vuole ottenere dalle fasi terapeutiche e variabile in due direzioni:

da 4 a 1

da 1 a 4

tenendo conto dell'effetto di rilassamento o di energizzazione rispettivamente presentato.

10.6. VALUTAZIONE DELLE FREQUENZE.

Da valutare nei due range opposti, come: a) FRH (basso alto della frequenza considerata) e b) FRL (basso basso della stessa frequenza).

10.7. MODULO COMPOSITIVO.

Da valutare sulla base della costruzione globale della sequenza terapeutica facendo riferimento sia alla successione su base ordinale dei moduli, sia sulla particolare "texture" caratteristica di ogni singolo modulo. Un ulteriore parametro di considerazione è derivato dalla correlazione modulare avente finalità specifica terapeutica e cioè il livello di "texture" del sistema terapeutico.

Si passano, infine, alla costruzione di ben codificate sequenze terapeutiche che, ovviamente, avranno il carattere delle complete individualità, in quanto derivate dalla particolare modalità di risposta biologico-comportamentale del singolo paziente alla complessità dello stimolo sonoro ed al particolare obiettivo prefissato dal terapeuta o dal ricercatore.

La strutturazione della fase terapeutica rispecchia l'organizzazione degli indici di riferimento in quattro blocchi verificanti sequenzialmente e con onde e strutture scelte dal computer in modo random controllato tra quelle immesse con lo schema cronologico ed organizzate secondo il modulo compositivo.

11. CONSIDERAZIONI SULLE APPLICAZIONI

Gli indirizzi sviluppatisi sono numerosi, ma fondamentalmente operanti, per ora, nell'ambito della PSICOTERAPIA, integralmente intesa, come metodica di comunicazione interpersonale, verbale e/o non verbale, istituita con l'intento esplicito di risolvere gli stati di sofferenza psichica e/o i disordini del comportamento esteriore ad essi collegati (G. G. GIACOMINI) e/o le modificazioni ormonico-funzionali da essi indotte.

Si rende, a questo punto, necessaria una breve classificazione degli indirizzi terapeutici fondamentali oggi esistenti, per chiarire il campo di possibile applicazione dell'Audioterapia Computazionale. Sono distinguibili tre indirizzi:

a) PSICOTERAPIA OPERAZIONISTA

b) PSICOTERAPIA DI RIEDUCAZIONE O PSICOGOGICA

c) PSICOTERAPIA ANALITICA

Alla luce delle nostre esperienze è soprattutto nel secondo ambito, quello PSICOGOGICO, che si può inserire in modo autonomo l'Audioterapia Computazionale come tecnica operativa. Infatti, si ha l'intervento attivo dell'operatore sui atteggiamenti interiori della personalità del paziente, con l'intento della correzione, basandosi sullo stato di dipendenza psicoterapeutica (transfert) che assume importanza anche per il terapeuta, contrariamente alle terapie operazioniste, come strumento fondamentale del trattamento, senza peraltro sotoporlo ad un'analisi critica nell'ambito del suo rapporto interpersonale col paziente stesso.

Naturalmente l'applicazione della metodica psico-acustica presenta risvolti dei più complessi e tuttora non profondamente analizzati e codificati, con collegamenti sia con le tecniche psicagogiche vere e proprie (musicoterapia, training autogeno, ipnosi, discussione guidata e psicoterapia di gruppo, ed altre) che con le tecniche di psicoterapia analitica.

Sotto il termine di PSICOTERAPIA ANALITICA va considerata, invece, l'analisi degli atteggiamenti e delle problematiche della personalità interiore, in funzione della risoluzione autonoma dei conflitti e degli stati abnormi di dipendenza (inclusa la dipendenza di transfert). Sotto quest'ottica, l'Audioterapia Computazionale può fornire sia un substrato di ricerca e di indagine, sia un elemento di appoggio facilitante e rafforzante il lavoro analitico vero e proprio.

Un riferimento esemplificativo dello sviluppo dei punti sopra considerati e riguardante le "M. Psicosomatiche" può essere schematizzato come segue:

Il concetto di malattia psicosomatica applicato unicamente a quadri fisio-patologici ha perso la sua ragione d'essere. L'uso ormai radicato ad indicare condizioni in cui sia il meccanismo psichico a determinare il quadro sintomatologico ha delimitato il suo significato epistemologico ad una serie nosologica ben definita, ma è tuttavia da segnalare l'evoluzione e l'ampliamento del termine che oggi sta ad indicare un metodo di appoggio e di valutazione della globalità dell'essenza umana, tralasciando e superando la dicotomica distinzione corpo-psiche.

Il paziente riaccosta la sua identità aggiungendo ai tradizionali elementi eziopatogenetici ereditari di predisposizione, biologici, i fattori di tiro psicologico e socio-culturale, per la considerazione della malattia come

derivazione plurifattoriale, determinandosi il concetto di "MODELLO PSICOSOMATICO".

Con questo termine, si vuole escludere il solo fattore psichico nella genesi della malattia e lo si indica come rappresentante solo un punto di vista, che deve essere completato da altri, per la comprensione dell'alterazione fisiopatogenetica.

L'obiettivo della medicina psicosomatica corrisponde a questa concezione, anche se essa si occupa soprattutto della manifestazione della malattia per la quale l'etiologya e la patogenesi di fattori affettivo-emozionali occupano un ruolo predominante.

Si deve, a questo punto, introdurre il concetto di CLASSIFICAZIONE DEI DISTURBI PSICOSOMATICI. Tra le tante verrà indicata quella di ENGEL, modificata da HEIM.

1) DISTURBI PSICOGENI:

fenomeni psichici primari con una partecipazione dell'organismo o assente o soltanto estratta (Sintomi di conversione - Reazioni ipocondriache - Reazioni a situazioni psicoratologiche).

2) DISTURBI PSICOFISIOLOGICI:

mediante effetti psichici, sono prodotte reazioni fisiche nel significato più vasto (Fenomeni fisiologici concomitanti alle emozioni o paragonabili a situazioni psichiche - Produzione psichica di malattie organiche).

3) MALATTIE PSICOSOMATICHE in senso stretto - DISTURBI SOMATOPSICHICI-PSICOSOMATICI:

caratterizzati da: a) prima comparsa a qualsiasi età; b) una volta prodottisi, andamento cronico semplice o ricidivante; c) decisivo intervento, nella loro genesi, dello stress psichico, per lo più specifico; d) presupposti psicodinamici per specifiche malattie organiche; e) considerevoli tratti personalogici del paziente caratteristici e costanti.

4) DISTURBI SOMATOPSICHICI - REAZIONI PSICHICHE A MALATTIE SOMATICHE.

Da quanto esposto, e volendo ulteriormente schematizzare, si possono indicare due grandi gruppi di disturbi psicosomatici:

a) NEVROSI D'ORGANO - nelle quali si evidenziano disturbi funzionali psicosomatici, disturbi funzionali di singoli organi su base psicogena.

b) PSICOSOMATOSI - in cui le influenze psicogene portano a vere

alterazioni di ordine morfologico.

1.1.1 Categorie comportamentali

Considerando il livello di analisi e classificazione degli obiettivi specifici, si può utilizzare, secondo KRATHWOHL, una definizione di questo livello comprendente un orientamento verso degli OBETTIVI COMPORTAMENTALI ed è giustificata la distinzione della potenzialità di comportamento dell'essere umano in obiettivi inerenti alla sfera COGNITIVA, AFFETTIVA, PSICOMOTORIA, con particolare rilievo per l'ambito specifico delle modalità terapeutiche in psicosomatica della SFERA AFFETTIVA.

Si deve tener presente che questa suddivisione ha unicamente uno scopo didattico, non essendo possibile una distinzione reale, rigorosa, in quanto l'uomo reagisce come un organismo complesso con la presenza, quindi, di tutti i tre campi contemporaneamente e con varia penetranza.

Il campo affettivo secondo BLOOM comprende gli obiettivi che considerano le modificazioni degli interessi, degli atteggiamenti, dei valori, come pure i progressi nel modo di giudicare e la capacità di adattamento ed uno strumento per la valutazione di questi obiettivi è il MODELLO TASSEONOMICO DI KRATHWOHL distinguente cinque categorie comportamentali nel continuum affettivo, basandosi sul PRINCIPIO DI INTERIORIZZAZIONE, come incorporazione, adozione come propri di valori, di comportamenti pratici, di idee, di norme che provengono da un'altra persona o dalla società'. Le cinque categorie sono:

a RICEZIONE (come presenza)

a.1 COSCIENZA - come semplice consapevolezza senza discriminazione o riconoscimento specifico delle caratteristiche dell'oggetto proposto.

a.2 VOLONTÀ DI RICEVERE - come comportamento di un individuo disposto ad accettare un dato stimolo e non a sottrarsi.

a.3 ATTENZIONE GUIDATA O PREFERENZIALE - come differenziazione degli aspetti di uno stimolo chiaramente percepito come molto diverso dalle impressioni adiacenti.

b RISPOSTA

b.1 ASSENTIMENTO - la risposta viene data, ma non vi è la completa persuasione sulla necessità di farlo.

b.2 VOLONTÀ DI RISPONDERE - manifestazione sufficientemente impegnata del proprio comportamento in pubblico, non per paura di essere puniti, ma di sua spontanea volontà'.

AUDIOTERAPIA

b.3 SODDISFAZIONE NELLA RISPOSTA - risposta emotiva, generalmente di piacere, di entusiasmo o di gioia.

c VALORIZZAZIONE (come comportamento abbastanza solido e stabile da assumere le caratteristiche di una convinzione o di un atteggiamento - interiorizzazione di un insieme di valori specifici ideali)

c.1 ACCETTAZIONE DI UN VALORE - attribuzione di un certo valore ad un fenomeno, ad un comportamento, ad un oggetto.

c.2 PREFERENZA PER UN VALORE - livello di interiorizzazione totale fra la semplice accettazione e l'impegno o la convinzione.

c.3 IMPEGNO - convinzione, certezza di alto grado.

d ORGANIZZAZIONE (organizzare i valori entro un sistema, determinando le interrelazioni che esistono tra di essi)

d.1 CONCETTUALIZZAZIONE DI UN VALORE - astrazione o concettualizzazione che permette all'individuo di vedere in che modo un valore si ricollega a quelli che già possiede o a quelli che eventualmente potrà possedere.

d.2 ORGANIZZAZIONE DI UN SISTEMA DI VALORI - riunione di valori disparati in modo ordinato tra loro.

e CARATTERIZZAZIONE PER MEZZO DI UN VALORE O DI UN SISTEMA DI VALORI (i valori interverranno a far parte della gerarchia di valori dell'individuo)

e.1 DISPOSIZIONE GENERALIZZATA - l'insieme è ciò che conferisce una logica interna al sistema degli atteggiamenti e dei valori, in ogni circostanza.

e.2 CARATTERIZZAZIONE - concezione dell'universo, filosofia della vita, visione del mondo.

Le implicazioni del modello quale guida all'analisi comportamentale nel caso specifico della medicina psicosomatica sono molteplici. Gli obiettivi specifici derivanti dall'applicazione del modello sono variabili e dipendenti dalla singola personalità del malato e dalla peculiarità del quadro clinico. Le ovvie e complesse derivazioni di collegamento non possono essere esaminate nei dettagli. Basti accennare che i singoli fattori psicodinamici determinanti il quadro sintomatologico, la reattività ai test sonografici e diafisi, le modalità comportamentali ottenibili, sono il risultato dell'applicazione del modello al caso pratico.

11.2 Materiali

Verra' indicato, ora, il procedimento tecnico utilizzato dalla nostra equipe tralasciando gli

aspetti del rapporto medico-paziente che, ovviamente, sono unici e particolari caso per caso.

CRONO è un package di analisi e produzione acustica realizzato dallo Studio di Sonologia Computazionale 'E. Varese'. Esso utilizza un microcomputer 8 bit con microprocessore 6502, una scheda digitale-analogica con 16 oscillatori indirizzabili e completamente programmabili, un software altamente specializzato per la produzione ed analisi sonora mediante la tecnica della sintesi additiva di sinusoidi.

Mediante la tecnica di sintesi è possibile creare e modificare successivamente qualsiasi timbro di qualsiasi frequenza compresa tra 0 e 16.000 Hz. Con una frequenza di campionamento di 32.000 Hz con uno step di 0.5 Hz, è possibile abbracciare tutto lo spettro acustico udibile con un'ottima definizione per un numero elevatissimo di forme d'onda.

Il package sviluppato dallo Studio permette una completa gestione dei timbri sia mediante introduzione dei valori relativi ad ogni armonica, sia mediante elaborazione grafica del ciclo ad ascolto e modifica immediata. Potendo disporre di una sintesi di un massimo di 24 armoniche compresa la fondamentale, esso permette sia la produzione di onde in modulazione di ampiezza, sia di onde standard (sinusoidi, quadre, transolari, dentate di sega, pulse, ecc.), sia di rumore bianco.

E' possibile miscelare le varie onde, creare semicicli misti di più di 10 onde diverse, produrre suoni di 16 onde contemporanee in tempo reale. Possiede inoltre la capacità, mediante programmazione, di gestire gli inviulppi relativi ad ognuna onda, attack, decay, sustain, release, con una definizione impossibile ad ottenersi con i comuni sintetizzatori analogici.

Mediante l'uso delle pagine di memorie interne, è possibile memorizzare ben 256 onde diverse, richiamabili da programma in momenti successivi e contemporaneamente fino a 16 onde. Utilizzando le memorie di massa (in dischi magnetici o floppy-disk) si può raggiungere una quantità infinita di onde diverse. Tutte le onde, al momento dell'utilizzazione, vengono visualizzate e possono essere modificate in tempo reale attraverso l'input di dati o la gestione dei grafici. Ogni tabella di onde è costituita da 256 bytes per un'ottima definizione del campionamento.

Per quanto riguarda le

frequenze, si hanno a disposizione due regolazioni fini di 256 bytes ciascuna; la prima per la definizione del byte alto, la seconda per la definizione del byte basso. In tal modo e' possibile avere 256 ottime con 65536 step frequenziali.

12. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Si rende ora necessaria la discussione dei criteri di valutazione utilizzabili seguendo una schematizzazione cosi' proposta: 1) descrizione del comportamento finale; 2) descrizione del prodotto o della prestazione; 3) le condizioni; 4) i criteri di riuscita: la valutazione.

12.1. Descrizione del comportamento finale

Esiste una distinzione fondamentale dei comportamenti che li suddivide in: OSSERVABILI e NON OSSERVABILI.

Gli obiettivi cognitivi ed affettivi risguardano soprattutto caratteristiche di pensiero e di sensibilita' che non sono direttamente osservabili, ma dai quali se ne deduce l'esistenza a partire da atti psicomotori. In realtà si deve aver cura di non esagerare l'importanza accordata alla componente "azione", interessandosi alle caratteristiche dei prodotti o delle azioni che ci permettono di dedurre il tipo di attivita' mentale che li ha generati.

Cio' vuol dimostrare che esiste la predominanza della non esteriorizzazione dei comportamenti, ma la contemporanea necessita' pratica di valutazione determinera' la scelta di "COMPORTAMENTI FINALI" non considerati in se stessi, ma accettati quali segni probanti di costrutti, di astrazioni, ideate per facilitare la comunicazione e proposito di processi complessi non osservabili.

12.2. Descrizione del prodotto o della prestazione.

Al concetto di "comportamento finale" va aggiunto immediatamente dopo "il prodotto o la prestazione" di questo comportamento finale.

Il numero dei prodotti dell'attivita' umana sembra qualitativamente illimitato e sfugge per ora ad una classificazione rigorosa. Il problema e' reso ancor piu' difficile in quanto la precisione dei limiti della prestazione e' soggetta a molte variazioni.

Gli schemi specifici per ogni quadro patologico si rilevano come pura derivazione intuitiva dal complesso dei comportamenti finali

desiderati, ma si rende subito evidente la limitatezza di questa definizione. Con il tempo si potra' trovare una classificazione soddisfacente e meno empirica a questo problema, la cui soluzione necessita di un complesso lavoro interdisciplinare.

Le definizioni finora trovate dei prodotti e delle prestazioni vanno perciò considerate sotto quest'ottica e continuamente riconsiderate e rivalutate con il procedere delle ricerche.

12.3. Le condizioni

In questo ambito vi e' una maggior chiarezza, anche se relativa, in quanto la definizione delle condizioni va effettuata senza ambiguita' e con riguardo alla situazione. Si deve far riferimento a due tipi di condizioni:

- a) condizioni MATERIALI - con particolare attenzione a: - schemi psicodinamici da utilizzare - eventuale aiuto - luogo; ed alle condizioni - comportamento - criterio di esecuzione.
- b) condizioni PSICOLOGICHE - risguardanti gli eventuali apprendimenti anteriori o gli stimoli quali "CUE", come aspetti della situazione stimolante totale che servono a far scattare una particolare risposta psicomotoria, e "PROMPTS", come elementi stimolanti che sono stati appresi in passato e che possono risultare utili in successive situazioni.

12.4. I criteri di riuscita: la valutazione.

E' una tappa indispensabile per misurare i progressi ottenuti e serve anche da feed-back per il terapeuta. A questo stadio finale le sezioni precedenti acquistano tutto il loro valore. Ma per non vanificare gli sforzi compiuti si rendono necessarie alcune precisazioni:

- a) e' impossibile valutare dei progressi se non si sono precedentemente misurate e definite le acquisizioni gia' presenti. Cio' potrebbe comportare il credere che il paziente abbia raggiunto un obiettivo che invece, in realtà, non rappresentava nulla di nuovo per lui.
- b) Si devono raggiungere dei valori minimi al di sotto dei quali si giudica che l'obiettivo non e' stato raggiunto.
- c) I criteri di riuscita devono essere specificati prima che inizi la terapia. Infatti, la definizione fatta soltanto al momento di esaminare i risultati puo' rivelarsi falsata, sia da un aumento che da

una diminuzione delle esigenze iniziali.

Da questo punto di vista si sono selezionati due tipi di criteri: a) CRITERI QUALITATIVI nel senso che la riuscita o l'insuccesso si esprimono in termini di tutto o nulla; b) CRITERI QUANTITATIVI che sono variabili da situazione a situazione, ma che sono schematizzabili come il compimento della totalita' delle modificazioni prospettate oppure un criterio proporzionalistico considerato accettabile.

Come ben si puo' vedere dalla complessa articolazione di quanto finora esposto, il ruolo del terapeuta va perdendo quella risida connotazione datagli dalla medicina tradizionalmente biologica. La problematica emergente, da un lato risuardante la necessita' di espandere il concetto di salute, e dall'altro risuardante la sempre maggior vastita' del campo e delle interrelazioni delle varie branche scientifiche, rende ragione dell'impossibilita' di un'azione corretta se non nell'ambito di un'equipe comprendente specialisti di varie discipline.

Il tentativo, certamente schematico, forse semplicistico, di mostrare una delle applicazioni di una nuova scienza quale l'Audioterapia Computazionale, dimensionandola in una nota cosi' breve, indubbiamente non ha contribuito a chiarire gli orizzonti delle possibili problematiche, e tanto meno per l'argomento specifico delle "malattie psicosomatiche", ma ha indubbiamente tracciato delle linee operative che sono passibili di sviluppo. Cio' che mi premeva sottolineare era l'esistenza di questa nuova forma di produzione e di utilizzazione del suono che produrrà certamente, in un immediato futuro, dei vantaggi, ora solo intuibili, ma che con l'aiuto del metodo scientifico e dell'applicazione, saranno certamente resi reali.

VII Sessione
TEORIA MUSICALE

ASPETTI DI GRAMMATICALITA' E MUSICALITA' NELLA MELODIA

LELIO CAMILLERI

Gruppo Format

Un sistema di regole per la generazione di una classe di melodie tonali è stato realizzato per indagare sugli aspetti di grammaticalità e musicalità. La valutazione delle melodie generate ha permesso di ridefinire le ipotesi teoriche laddove si mostravano inadeguate e di mettere in evidenza alcuni parametri che influenzano particolarmente i due aspetti.

1. INTRODUZIONE

Lo studio di alcuni aspetti della teoria musicale è stato, nel passato, abbastanza trascurato dalla computer music e solo in questi ultimi anni si sono sviluppate molte ricerche che hanno cercato di realizzare sistemi di indagine che permettano di descrivere ed esplicare i processi che sottostanno alle attività musicali; e qui come attività musicali si intendono l'esecuzione, la composizione, l'analisi e la percezione, insieme a tutti i problemi ad esse connessi.

Sotto la spinta delle metodologie della linguistica e dell'Intelligenza Artificiale si è iniziato a rivolgersi alcune domande sulla adeguatezza delle vecchie teorie musicali e su un possibile sviluppo di esse mediante l'uso dell'elaboratore, o sulla possibilità di creare nuovi modelli teorici per indagare su alcuni aspetti totalmente ignorati negli studi musicali.

Le ricerche dell'Intelligenza Artificiale hanno dimostrato come l'elaboratore permetta la creazione di programmi che simulino alcune attitudini umane, permettendo così di indagare sulla conoscenza che abbiamo rispetto ad esse e al loro funzionamento. Le ricerche della linguistica degli ultimi 25 anni hanno offerto alcuni punti methodologici e sistemi formali che possono essere utilizzati per descrivere con un certo grado di adeguatezza alcuni aspetti della teoria musicale, spesso studiati in maniera empirica.

Partendo da questi presupposti teorici e

dai lavori di Lidov e Gabura (1) e Lindblom e Sundberg (2), (3), la seguente comunicazione ha come scopo l'indagine sugli aspetti di grammaticalità e musicalità, applicati al momento solo al dominio della melodia. Semplificando, possiamo definire grammaticale una melodia quando essa è conforme alle regole di un certo sistema, quello tonale in questo caso, e possiamo definirla "musicale" quando essa, oltre a essere conforme ad un certo sistema, contiene alcuni aspetti che la rendono interessante ad un ascoltatore educato musicalmente. Un ascoltatore musicalmente educato può, entro certi limiti di soggettività, distinguere fra una melodia ben formata e non musicale ed una ben formata e musicale, anche se i processi che sottostanno a questi due aspetti non sono esplicati teoricamente. A questo proposito si può fare un parallelo al lavoro che stanno facendo Sundberg et al. (4) sull'esecuzione musicale.

Il primo passo della ricerca è stato quello di formulare delle ipotesi sui vari aspetti di una melodia tonale che avesse come caratteristiche determinati limiti ritmici, armonici e formali. Le ipotesi, nei termini di regole generative, dovevano essere chiare e precise in modo da poter essere falsificate ed adeguate ai nuovi problemi messi in evidenza dall'indagine. La metodologia di lavoro può essere riassunta nei seguenti termini:

i) Formulazione di un sistema di regole

che permettano di generare una determinata classe di melodie tonali

ii) Formalizzazione del sistema in un programma per elaboratore

iii) Valutazione dell'output del programma

iv) Adeguamento del sistema

Il punto iii) consisteva nel far ascoltare le melodie generate dal programma ad alcuni musicisti che dovevano esprimere dei giudizi sui livelli di grammaticalità e musicalità di ciascuna di esse. In questo caso l'uso dell'elaboratore si rivelava estremamente utile perché permetteva di individuare i punti del sistema di regole che erano incapaci di rendere conto di alcuni parametri musicali con sufficiente profondità, e quindi l'inserimento di altre regole o lo sviluppo di quelle già formulate.

Nelle sezioni seguenti verrà esposto il sistema che genera le melodie, gli attuali risultati dell'indagine e i successivi sviluppi che dovranno essere realizzati per poter estendere la ricerca ad una classe più ampia di melodie.

2. IL SISTEMA PER LA GENERAZIONE DELLE MELODIE

2.1 Generalità del sistema

Le caratteristiche delle melodie generate dal programma sono quelle di essere di otto battute con tempo di 4/4, di non avere modulazioni e di poter avere solo due diverse strutture tonali della frase. Hanno un limitato numero di elementi ritmici, che vengono organizzati nella frase secondo tre tipi di articolazione formale. L'utilizzazione di melodie così "semplici" per indagare sulla musicalità non crediamo che sia fuorviante, perché essa non è determinata dalla maggiore o minore "complessità".

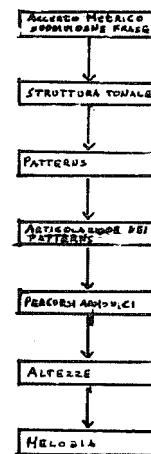
Il tipo di modello generativo usato è quello che proviene dalla grammatica trasformazionale, anche se qui è per certi versi orientato verso la grammatica sistematica (5). L'ipotesi che sottostà a tutto il processo generativo dei parametri della melodia, e cioè la scelta del pattern

e del suo conseguente, l'armonizzazione delle battute, la scelta delle altezze etc., si può enunciare in questi termini; dato un nucleo particolare, esso viene specificato attraverso una serie di "cicli generativi" che definiscono in maniera gerarchica tutti i componenti di un dato aspetto della melodia. Ciò permette soprattutto di indagare nei livelli intermedi della definizione delle altezze che, come i "Middleground" schenkeriana (cfr. (6) e (7)), sembrano essere quelli che hanno particolare importanza per l'interpretazione di una particolare melodia. Questa ipotesi è per alcuni aspetti molto vicina a quella che Chomsky (8) fa nei riguardi di quelle che chiama "strutture quasi superficiali", che, con le tracce delle varie trasformazioni avvenute sul loro nucleo, permettono una più chiara interpretazione della frase.

I vari aspetti che le regole del sistema devono generare sono i seguenti:

- 1 - Accento metrico e suddivisione della frase
- 2 - Struttura tonale della frase
- 3 - Pattern ritmico e suo conseguente
- 4 - Articolazione dei pattern nella frase
- 5 - Percorsi armonici delle due semifrasi
- 6 - Definizione delle altezze

La figura 1 illustra la sequenza delle varie operazioni generative.

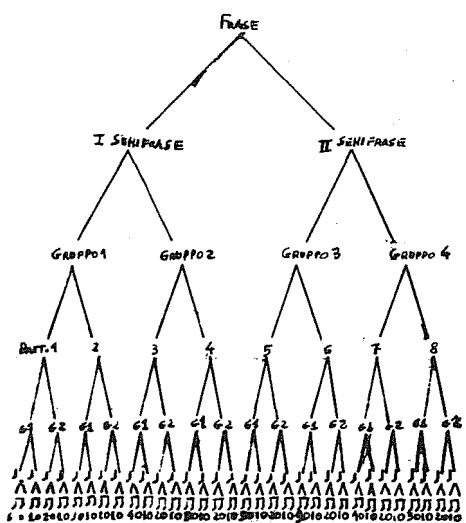


"Figura 1 Schema di generazione"

2.2 Accento metrico e suddivisione della frase

La frase di ciascuna melodia è suddivisa in due semifrasi suddivise in due gruppi di due battute ciascuna, che a loro volta sono suddivisi fino ad arrivare ad ogni ottavo della battuta. La struttura ad albero di fig. 2 illustra le varie suddivisioni.

L'accento metrico viene calcolato contando ciascun "ramo sinistro" consecutivo del diagramma ad albero partendo dal nodo della frase fino ad arrivare ai terminali. I numeri che vengono assegnati non rappresentano le proporzioni fra i vari accenti, ma devono essere intesi come valore gerarchico. Dalla definizione degli accenti metrici dipendono tutte le altre operazioni generative. E' evidente che adottando una diversa suddivisione della frase si otterrà una diversa gerarchia degli accenti.

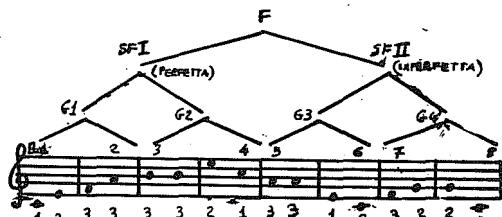
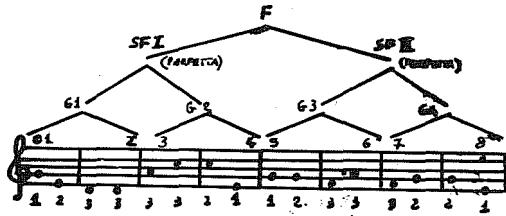


"Figura 2 Diagramma ad albero della frase"

2.3 Struttura tonale della frase

La struttura tonale della frase è suddivisa da quattro principali accenti tonali. Per questo aspetto abbiamo seguito l'ipotesi formulata da Lidov e Gabura (1) che sostiene che ogni semifrase sia "perfetta" quando ha gli accenti tonali che cadono all'inizio e alla fine, e sia invece "imperfetta" quando i suoi accenti sono paralleli. Quindi quando il sistema di regole genererà una semifrase "perfetta", metterà i principali accenti tonali sulla prima e sulla quarta battuta, mentre in una semifrase "imperfetta" gli assegnerà alla seconda e alla quarta battuta. Per questa classe di melodie la possibilità che uno dei due costituenti che dividono la frase sia "perfetto" o "imperfetto", è ristretta solo al secondo perché, essendo un parametro che influenza estremamente la musicalità, pensiamo che lo spostamento degli accenti tonali in maniera irregolare nella prima semifrase presupponga determinati livelli di complessità della melodia.

La figura 3 illustra due melodie con differente struttura tonale in un ciclo generativo intermedio per quanto riguarda la generazione delle altezze. I numeri stanno ad indicare gli accenti tonali.



"Figura 3 Struttura tonale di due melodie"

L'accento tonale viene calcolato secondo due fattori; la derivazione dell'altezza da un determinato accordo e il ciclo generativo a cui appartiene. Viene assegnato il numero del ciclo generativo di assegnazione delle altezze, a quelle che fanno parte dell'accordo di tonica e alla sola nota della dominante, e il numero del ciclo + 1 alle altezze degli altri accordi. Per esempio le altezze iniziali, che fanno parte dell'accordo di tonica, avranno il maggior accento tonale, mentre le altre pur facenti parte dell'accordo di tonica avranno l'accento in relazione al ciclo a cui appartengono.

Anche se non proporzionale e abbastanza arbitrario, questo tipo di calcolo riesce efficacemente a rendere conto della distribuzione degli accenti tonali, almeno in questa classe di melodie.

Da notare che l'accento tonale viene calcolato in un modo in cui un numero piccolo significa un accento maggiore, al contrario del calcolo dell'accento metrico.

2.4 Percorsi armonici delle semifrasi

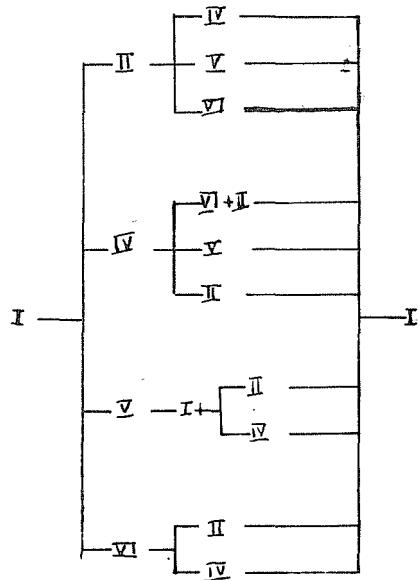
I percorsi armonici di ciascuna semifrase, nei quali viene determinato per ogni battuta o semi battuta un accordo di un particolare grado della scala, non sono da intendersi come un'armonizzazione della melodia, ma piuttosto come una sorta di "struttura profonda" da cui vengono, in un secondo tempo, specificate le altezze.

Il sistema di regole "riempie", in definitiva, lo spazio armonico esistente fra gli accordi di tonica, la cui posizione è determinata dalla struttura tonale della frase. Il processo si basa su alcune regole del tipo "if → then", proprie della grammatica sistematica. Ciascun accordo assegnato esclude certi percorsi e ne rende possibili altri, fino ad arrivare ai punti di cadenza. Per le caratteristiche che si volevano dare alle melodie si è deciso di utilizzare solamente i gradi seguenti:

I II IV V VI

La figura 4 illustra i possibili percorsi

armonici della prima semifrase.



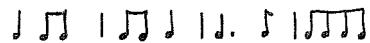
"Figura 4 Percorsi armonici della prima semifrase"

2.5 Pattern ritmico e suo conseguente

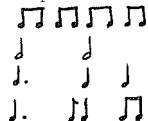
Le regole che generano le durate hanno la possibilità di scegliere solamente un ristretto numero di unità ritmiche. Le durate per la prima metà della battuta sono le seguenti:



mentre invece queste sono quelle che possono essere generate nella seconda metà:



Anche per quanto riguarda la creazione del pattern il processo inizia con la definizione delle posizioni metriche più forti, specificando poi, sempre gerarchicamente le successive. Figura 5 illustra questo processo.



"Figura 5 Processo di generazione del pattern"

Il conseguente del pattern viene realizzato attraverso la trasformazione di quello iniziale. Anche in questo caso sono permesse un numero limitato di trasformazioni.

2.6 Articolazione dei patterns

I due patterns, a questo punto del processo generativo vengono articolati in una sequenza, che allo stato attuale del sistema, può assumere tre differenti forme:

A B A B A B A B

A B A A A B A A

A B B A A B B A

2.7 Generazione delle altezze

La definizione delle altezze della melodia avviene attraverso un massimo di quattro cicli generativi. Innanzitutto viene generato il nucleo di altezze che occupano le principali posizioni, e cioè quelle che hanno maggior peso tonale. Ad esempio se la "semifrase è perfetta", le altezze saranno situate nel primo quarto della prima battuta e nel terzo della quarta. Se la semifrase è "imperfetta", esse saranno situate nel primo della seconda e della quarta. I numeri delle battute si riferiscono alla semifrase e non al numero d'ordine della frase intera. Definite le quattro altezze principali, le regole genereranno le altezze in tutte le posizioni che abbiano un accento metrico superiore o uguale a 2. Come le note principali fanno parte dell'accordo di tonica, queste altezze fanno riferimento all'accordo di appartenenza designato in precedenza. Il terzo ciclo genera le altezze nelle posizioni che hanno un accento metrico uguale a 1, nel caso in cui esse siano presenti come unità ritmiche nel pattern. Il quarto genera le note di passaggio e da sola il definitivo assetto alla melodia.

A questo punto ci sembra importante rilevare due ipotesi che sottostanno all'utilizzazione di questo tipo di metodologia:

1) Come nella teoria schenkeriana si fa riferimento ad un nucleo generatore, arricchito dagli inserimenti di altre altezze.

2) L'interpretazione di una melodia può

2) L'interpretazione di una melodia è data dall'analisi dei livelli intermedi di generazione.

La figura 6 illustra i vari cicli generativi di una melodia elaborata dal programma.

"Figura 6 Generazione delle altezze"

3. Aspetti di grammaticalità e musicalità nelle melodie generate

Come detto in precedenza le melodie generate dal programma e fatte suonare dal terminale audio TAU2, venivano fatte ascoltare ad alcuni musicisti che dovevano esprimere giudizi e osservazioni sui due aspetti su cui verte l'indagine .

Per quanto riguarda la grammaticalità le osservazioni principali che sono state fatte sono le seguenti:

- la mancanza di una scala gerarchica per quanto riguarda le note di volta a seconda della loro vicinanza alla tonica, dato che il sistema non prevede modulazioni .
- alcuni patterns ritmici richiedono una differente organizzazione degli accenti tonali
- nell'ultima battuta si devono evitare, a meno che non sia richiesto dal contesto, i salti ascendenti

Molto più complesse sono state le osservazioni sulla musicalità delle melodie, e ciò è dovuto sia alla disparità dei giudizi che alla difficoltà di isolare alcuni aspetti che sembrano influenzarla . In determinate melodie il grado di musicalità superava quello di grammaticalità, a ri provare di un certo grado di indipendenza che il primo ha sul secondo .

Comunque da un'analisi approfondita dei dati e delle melodie, allo stato attuale della ricerca, i fenomeni che sono stati messi in evidenza per quanto riguarda la musicalità sono i seguenti:

- il tipo di articolazione formale ABAAABAA, in determinati contesti, incide sulla musicalità anche a causa del limitato numero di configurazioni ritmiche .
- quando la seconda semifrase è "imperfetta" si deve evitare l'addensarsi di accenti tonali di valore 2 nella terza battuta della prima semifrase, perché esso rende la frase sbilanciata e tortuosa a livello della struttura tonale .
- l'andamento ascendente o discendente della linea melodica deve essere contestualizzato

zato in riferimento ai patterns ritmici usati, alle armonie e in alcuni casi al nucleo delle altezze .

Naturalmente queste non sono le sole osservazioni che sono state fatte riguardo la musicalità, ma sono le sole che è stato possibile esplicitare chiaramente, sia per i giudizi dei test che per le successive analisi. Tutte queste osservazioni sono peraltro suscettibili di modifica durante altre indagini .

4. Sviluppo del sistema di generazione delle melodie

Il sistema di generazione delle melodie verrà prossimamente ampliato in modo da permettere di svolgere indagini anche su differenti classi di melodie .

Sempre seguendo lo stesso processo generativo verranno realizzate regole che permettano modulazioni, una scelta più vasta di patterns ritmici, differenti suddivisioni della frase e una struttura tonale più complessa .

5. Ringraziamenti

Vorrei ringraziare i proff. Arrigo Benvenuti, Albert Mayr e Pietro Grossi per le interessanti osservazioni fattemi nelle discussioni su questo lavoro .

6. Riferimenti bibliografici

- (1) D. Lidov e J. Gabura, A Melody Writing Algorithm Using a Formal Language Model, Computer Music in the Humanities and Verbal Behaviour, 1 (1973) 138 - 148 .
- (2) J. Sundberg e B. Lindblom, Generative theories in language and music descriptions, Cognition 4 (1976) 99-122 .
- (3) J. Sundberg e B. Lindblom, Towards a generative theory of melody, Svensk tidskrift för musikforskning, 52 (1970) 71-88 .
- (4) J. Sundberg et al., Musical Performance: a Synthesis-by-rule Approach, Computer Music Journal, 7(1) (1983) 37-43
- (5) M. Halliday, Explorations in the Functions of Language, (Edward Arnold, London, 1973) .

(6) M. Kassler, Proving Musical Theorems
I: the Middlegrund of Heinrich Schenker's
Theory of Tonality, (University of Sidney
technical Report 103, Sidney, 1975) .

(7) S.W. Smoliar, A Computer Aid for
Schenkerian Analysis, Computer Music
Journal, 4(2) (1980)41-59

(8) N. Chomsky, Essay on Form and Interpretation, (Elsevier North Holland, New York,
1977) .

THE HIDDEN GEOMETRY OF MUSIC

Pozzi Escot
Associate Professor
Wheaton College (Mass., USA)
Editor of Journal Sonus
Faculty, New England Conservatory Summer Institute

Abstract - Introduction

Jacob Bronowski writes that discoveries of science, and the works of art are both explorations and explosions of a hidden likeness. All around us there is but a hint of what nature hides; the philosopher of science Hermann Weyl, refers to the loveliness hidden under the surface beauty of nature -- that the mathematics is not to be revealed in its skin. In Mind and Nature, the biologist Gregory Bateson recognizes that our minds are but mirrors of nature. In music the hidden likeness is not an immediate result. The relationships of essential components in the composition can be complex and magical. A myriad of aspects is combined to structure an architectural sonic design -- the hidden proportions often showing stupendous spatial deployments. That internal construction is not necessarily evident to the audition's first impression; nor the formulas which control the forms clear to the mind. An unseen geometry, finally mapped, dissolves the music to a discipline of interrelation whereby linguistic, temporal, and spatial structures acquire a contextual commensuration.

Geometry played an important role in Greek thought -- the Pythagoreans concluding that proportional number patterns rule the essence of things. To Plato symmetry in nature is governed by mathematical laws, and these are

intuitively realized in the creative mind. By early medieval times St. Augustine shows that number is the source of all aesthetic perfection. For him music is number and progressive divisibility affected the entire work down to the smallest details of its dimension: a hierarchy of logical levels in which the golden ratios were a factor. The true understanding of music, which knows the laws that are of its very essence, applies them in musical creation, and discovers them in composition, is what St. Augustine calls the science of music. The nature of this science, he adds, is mathematical, particularly geometry.

Again Bronowski writes that Leonardo Da Vinci was occupied with the logic of the processes he saw in people, and people and machines; and he looked for the hidden structure because it expressed that logic, proportion, and symmetry. This paper presents that exploration and explosion of a hidden likeness in the secret geometry of music from medieval composer Hildegard von Bingen to the contemporary György Ligeti.

I. Looking Back - Hildegard von Bingen's Antiphon #61 "O Pastor Animarum", ca. 1140 (Ex. 1)

Gothic meant development of an architectural plan in precise accordance with geometrical laws: a colossal architecture designed to experience an ultimate reality; a medieval sanctuary which copied the imagined holy abode of heaven. The stability and beauty of this sanctuary was only accepted through the perfection of its geometrical formations. So was the chant composed to be sounded,

expressed, and heard in the Gothic cathedral.

The medieval gothic world had inherited the legacy of St. Augustine's thought. For him music and architecture were congruent forces since both were the result of a vision of number -- an attempt to repeat the harmonious consonances of an unattainable world. Geometry meant aesthetic perfection and this perfection based on geometry was considered the link between God and earthly world. It was Abbot Guy Charlier (a pupil of the noted Abbot of Clairvaux, St. Bernard) who wrote his Regulae de Arte Musica in the 12th century where it is written that music must sound the great Gregorian virtues of symmetry and aesthetic proportion, namely the virtues of geometry.

"O Pastor Animarum" shows an example of duly proportioned dimensions, all in precise agreement with geometrical laws. The chant sounds its highest pitch D⁵ three times; and its lowest one A³ five times. These soundings plus the dyad D⁴-A⁴, which initiates the chant and is heard twice more in a 1:2 ratio, provide accurate symmetrical and dynamic acoustical motion. The linguist Roman Jakobson says that Gregorian chant is concerned not with pitch but with sonic motion, a motion that follows a syntax and semantic appropriate schema. The bilateral symmetry of the A soundings and the inter-dynamism of the balanced extremes of the chant can be viewed when the hidden geometry is traced using a two-dimensional time-space figure. Notice the Golden Section of the entire chant again initiated by the already heard dyad D-A. It is the Golden Section which separates

the chant into its amplification and recapitulation, as the last two phrases of seven that the chant presents repeat the first three with only slight modifications. Of the five phrases culminating at the Golden Section it is phrase four which again begins with the D-A dyad and presents unique characteristics: it is tetra tonic, more disjunct per ratio of attacks, and more densed (8 syllables per 12 units of time).

II. Schubert and Giotto (Ex. 2)

In painting, a secret geometry is an essential component. Giotto's St. Francis before the Sultan (ca. 1330) is a simple but keen example of rotation of the smaller sides of a rectangled space (as determined by the painter) onto its larger sides. This was rabatment -- a hidden geometry outlining various crucial perspectives on the rectangled canvas: the resulting space where the two squares overlap; the tracing of the diagonals of both overlapped squares; and the inner central square in a rhombic position drawn by the crossing of the diagonals. The French art historian Charles Bouleau shows that in this specific Giotto the sides of the throne on the painting and its base are designated by this rotation as is the height of the wall in the background. As if in flashback this hidden geometry of Giotto is almost 500 years later found in Franz Schubert's song Wehmuth. When the song is graphically translated as a space-time figure, a tripartite division occurs from the rotation of its total range, a ④8 (semitone measurement),

onto the indicated \emptyset total duration of $78 (30\downarrow +18\downarrow +30\downarrow)$. This rabatment is the more fascinating because it is visually lucid: the half-note pulsation of the first section (obvious in the accompaniment) drastically transforms itself into a rapid pacing group of two pairs of sixteenths sextuplets per half-note in the consequent space of the overlapping squares in the second section, to come back to a yet slower pace to end the song in the third section. The smaller inner square that rests on its base-angle after the diagonals have been drawn limits the extension of the song's outer boundaries at that section so that neither the vocal line nor the bass activity reach beyond those stretched-out poles. This spatial sonic design coincides with the measurements of a Golden rectangle; thus, at the partite divisions discussed both the negative and positive Golden Sections occur. What irony to ignore this vivid structure and perform the song hurrying through its slow flowing sections, as is the case often. Yet another hidden proportion of this song is the linguistic balances of the vocal line. The second drawing of Ex. 2 shows its geometrical representation.

III. Golden Section Concordance:
Chopin's Secret Geometry in
Prelude No. 1 in C Major ca.
 1839 (Ex. 3)

"I'll tell you what has always fascinated me most about such reconstructions (the hidden geometry) -- and I have heard analogous and geometric ones for various poetry: do

the original artists know explicitly what they are doing or do they have such an inborn or well developed sense of style that these regularities emerge automatically without any conscious intent. In Bingen's Antiphon I can surely imagine a conscious origin; I can also imagine many modern composers working consciously with mathematics. But what about our 19th century romantics. Does their work show similar geometric form?" (From a letter by biologist Stephen Jay Gould to the author.)

The first Prelude is divided into four phrases of 16 eighthnotes each plus 4 added to the last phrase to prolong the Prelude's final cadence. Both the first and last phrases have cadential endings, the second however runs into the third one to stress and enrich the Prelude's climax occurring at this point. As seen in the tracing of its hidden geometry, the Golden Section occurs at the loudest and highest event, m. 21, coinciding with the chromatic ascending goal-motion started in the negative Golden Section, from C \sharp to the tonic C. The negative occurs in m. 13 which sounds the first important and permanent change of the harmony -- the precise moment where the chromatic ascent from C \sharp begins. The lowest pitch is heard on m. 8 and the highest on 21 -- both these poles are related spatially with a .618 ratio. The negative ratio of this high-low duality coincides with the negative of the entire Prelude (m. 13); the positive occurs where the ultimate ascension is finally given its thrust onward. It is at this special moment that the

French pianist Alfred Cortot indicates a stretto in his edition of Chopin's Preludes. This happens to be at the half of the Prelude's time-flow, if the two extra measures at the end of repeated arpeggiated tonic are not considered, since they are unnecessary to the Prelude in terms of language and gestural dimensions. Certainly, quite needed to balance its temporal rhythm of crucial Fibonacci numbers, 8-13-21-34.

IV. The Multiple Ratios - Webern's Opus 11, #1 (Ex. 4)

Dr. Abraham Moles, the French psychologist, refers to musical perception (in relation to Information Theory) as a musical message broadcasted in a succession of packages of originality of varying size. Opus 11, #1 is a chain of 8 differentiated packages, all lasting barely one minute, held together by perfect ratios of balance, and separated by silence. Their hidden proportions resulting from: An extraordinary exact bi-partite division where every single detail of the sonic frame presents its mirror equivalence in the second half -- each part has a total of 33 pitches; 27 eighthnotes of which 18.5 are sounded, 8.5 are silent; four chords; 8 different pitches for the cello, to name a few details. Multiples of three dividing the composition into a succession of 8 packages of originality of varying size ($6\frac{1}{2} + 9\frac{1}{2} + 6\frac{1}{2} + 6\frac{1}{2}; 3\frac{1}{2} + 6\frac{1}{2} + 6\frac{1}{2} + 12\frac{1}{2}$). The Fibonacci series from 1 to 55 guiding the sonic motion through significant musical events -- at $8\frac{1}{2}$ the highest pitch of the piano; at $13\frac{1}{2}$ the first ritenuto; at $21\frac{1}{2}$ the climax; at $34\frac{1}{2}$ the last ritenuto. The coefficient 8 seven

times summing up vital constructive features -- 8 packages, 3 chords, 8 different total note durations, 8 velocity changes, again to name some. Finally, each bi-partite division balancing the lowest and highest pitches of the cello and piano at precise measurements; and the happening of both the negative/positive Golden Sections. All the above making up for a multiplicity of relationships which outright gear the composition to perfect commesuration.

The negative Golden Section (the most relevant event of the piece) coincides with the small package number four, where the climax is heard -- aloud, noisy, highly dramatic event that continues the speeding up of the previous package before abruptly changing to ritenuto. The positive takes place in number six. There the gestures are heard as if distributed in space and time. The two most significant pitches of the piece -- the interexchangable low-high $E^b - F^{\#}$ -- are heard here (the lowest E^b for the first time) in succession and initiating an upward motion of almost two octaves within the limited time duration of the package.

V. Thirty Years Before Ligeti - The Hidden Likeness of Kandinsky (Ex. 5)

As we look at Dessin No. 21 (1932) of Kandinsky, four events appear to disengage the framework out of tune. Two events seem static, two present amorphous movement. Of the two static, one satisfies and strives to outline precise structure -- it is a self-centered shape with little relation to the rather curved and incomplete forms of the other three as its linear contours engage its own interplay. The

central event, and largest of the four, is a vertical aggregation of five slices -- a solid dimensional curved item appearing to possess no concern towards its lateral and north-south happenings. And although the south one shows itself curtailing or directing the central event's formation, both the other two appear recessed from this central figure. A dicephering of the hidden geometry begins to shed understanding on how these four nonlinear or disconnected drawings can associate and become part of an overall commensuration. Using very specific points as focus of departure we can trace two plane figures encompassing the four events. The large isosceles triangle encloses the central event and its southern reflection. The five points mapping its plane measurements are the upper sideways boundaries of the last slice of the central event, and the two end points of the double arch event with its focal tangent. The long rectangle encloses the other two events. Three points of each determine the dimensions of the rectangle. The middle inner vertex of the first slice fixes the 90° angled radii of the circumference which flanks the top of the triangle and the right upper edge of the rectangle; thus confirming their respective proportions. The diameter intersects the lower larger side of the rectangle and the base of the triangle at their respective Golden Sections. The radius is equal to the Golden Section of the larger sides of the rectangle. Still another balance between the two traced plane geometrical figures is the radius-sized line joining the left lower angle of the Mondrian-

styled figure and the left angle at the base of the triangle. From this closed-up unseen geometry, the unfavourable disconnection of before begins to dissolve to a discipline of interrelation -- the lines and curves of the four events thereby acquiring a contextual kinship. A glimpsed-perspective arises not of foreground and background; not one of dimensional illumination; but one of ambiguity -- a multidimensional perspective absolving a variety of seemingly independent events some solid, some plane, some curved and infinite, some linear and finite, some set in motion, some static, some amorphous, some formal; all interacting in perfect measured places to project a multi-faceted composition.

VI. The Charm'd Magic Casements of George Ligeti (Ex. 6)

With the vision of an architect Ligeti dominates his musical expression -- the measured parts somewhat become unreal and enter the world of "charm'd magic casements" (Keats, quoted by Ligeti) as these parts, these sound-mosaics that make up the composition of his sonic canvases, continually oscillate to merge, disperse, die out, remain static. The sounds of these casements exist through the aggregation of strands where insinuating canon-like motion threads a web of phantom-like strata. The strata-contours generated by specific frequencies set to vibrate by the perfectly gauged parts, a hidden geometry again hardly suspected. Works like Continuum, Lux Eterna, and Harmonies are monuments imagined

and quantified by a smart geometry, allowing only the surveyor to reconstitute the hidden proportions back to logical manifestation after thorough scrutiny. A multitude of configurations is designed to sustain the harmony of the monuments flowing through in correct sizes shaping them anew each performing stance. The collaboration of the mosaics converges towards a unity of constant adaptation to the rules of the initial invention. Yet the architecture does not subordinate the search of the composer for color transformation. The 'al fresco' impression soon gives room to contrasts deriving from the lines governing the architecture of the work. It is the secret geometry that supports the nuances and the numbers outlining this mathematics which produce a subtle array of timbral hues.

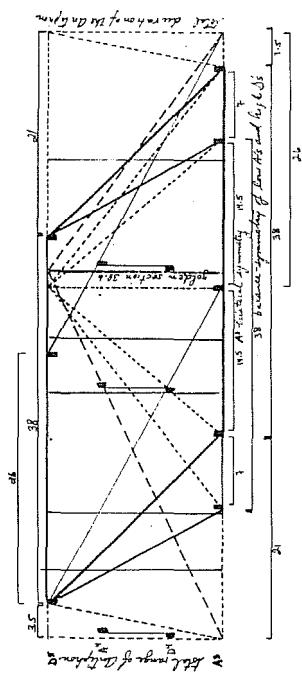
In Harmonies (1967) for organ ten simultaneous strands, with a canonic parity, inch their way with one attack at a time, never sounding two strands' attack together; and drawing a slight and slow widening of an original (23) to a (33), after which a more marked narrowing motion begins to a final (3). This entire motion is symmetrical, moving upwards and downwards a (5) to the (33) and a (15) to the (3). This bilateralism is numerically related by the five difference: 33-28-23-18-13-(8)-3; and 15-10-5 (see Ex. 5). The ten voices span 231 units and move with parallel finger-exchange (one attack each) in exact cumulative addition from 1 to 231. To overview this display we can obtain, through a one-to-one reduction, a space-time diagram which pictures the hidden geometry. Completing this outline (without its mirror) of which Ligeti used only

2/3, the geometry becomes even more obvious.

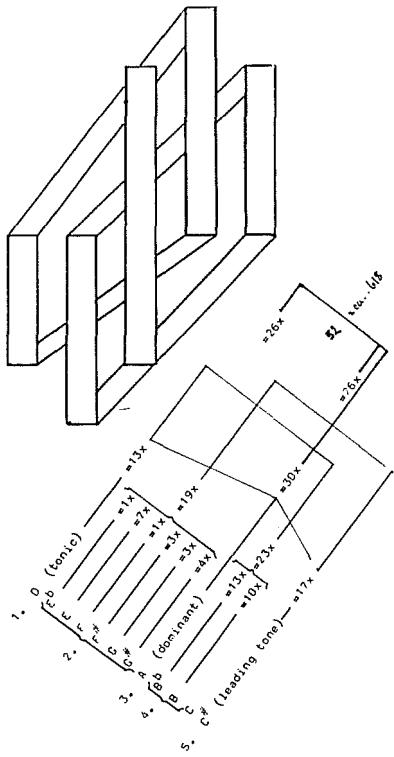
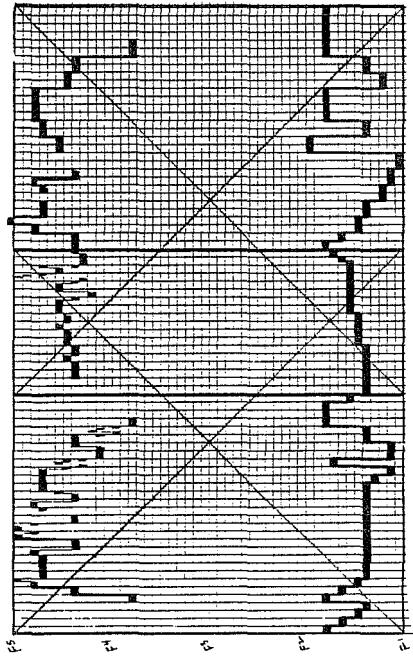
A Pattern of Patterns – The Meta-pattern

Again the biologist Gregory Bateson mentions in his book Mind and Nature that being responsive to the pattern which connects means developing the critical aspect and the aesthetic experience. The musics discussed here are strata of connective patterns not just describing a nicety, yet involving a remarkable invention and recalling the ability to fulfil it. As we alleged to before, Pythagoreans regarded symmetric number patterns as the essence of all things. Binger's Antiphon, Kandinsky's Dessin, Ligeti's Harmonies are the logic-processed numbers of a hidden structure -- time and space are traced by accurate measurements in a large-scale canvas of moving sonic elements. A chain of interrelated symmetries produces the geometry behind; the audition might fail to grasp it, but the overall pattern, a finished puzzle of small patterns, is the ultimate constellation of that imagined geometry.

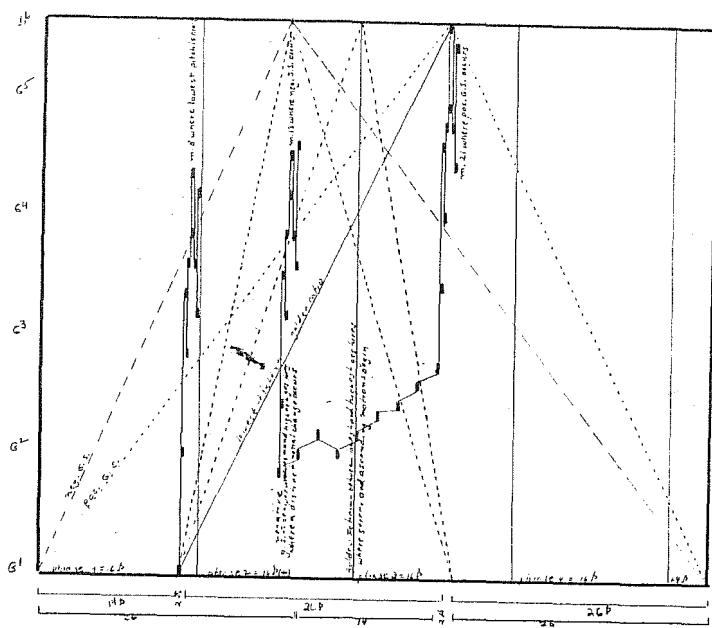
Ex. 1



Ex. 2

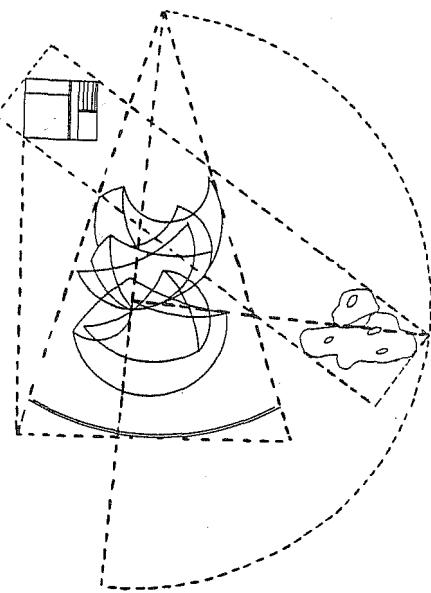
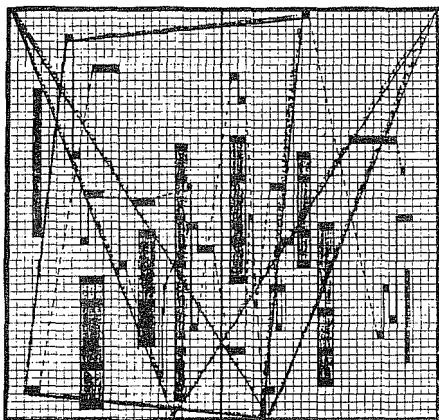


Ex. 3

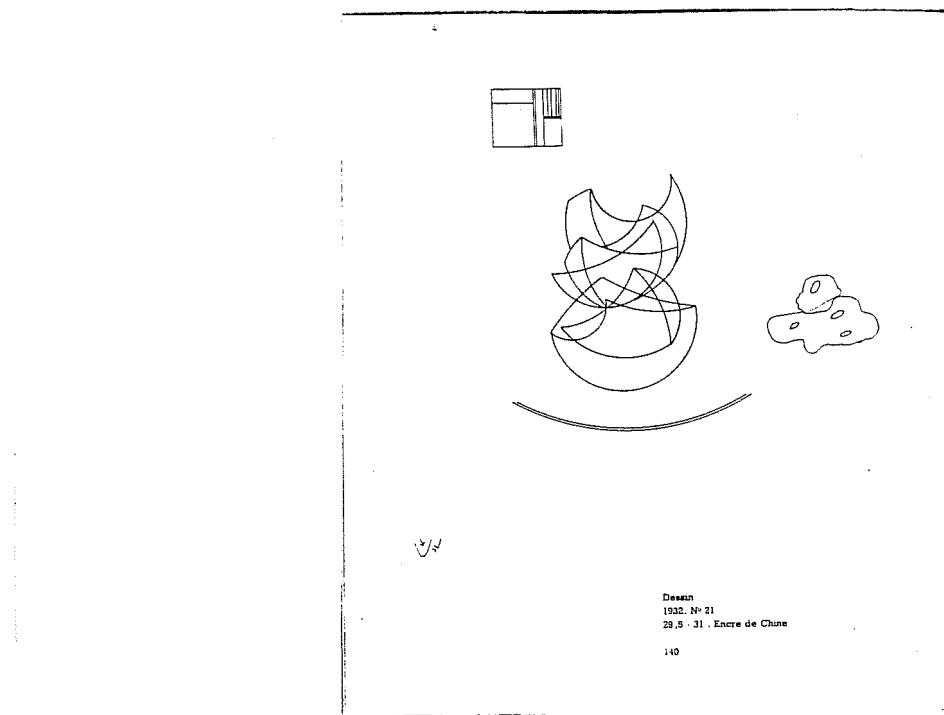


Ex. 5

Ex. 4

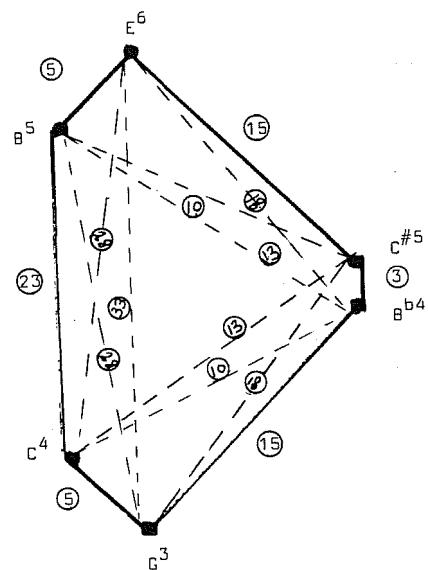
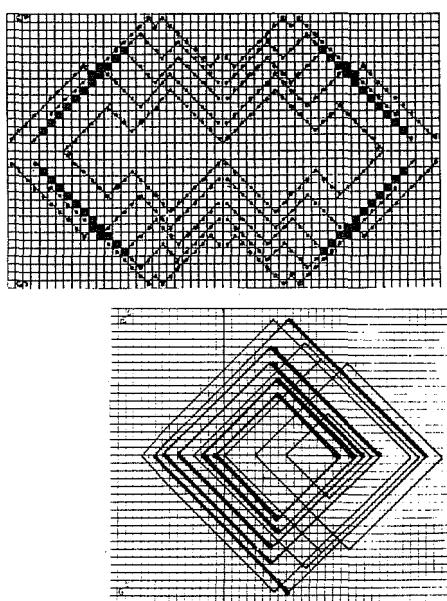


Dessin
1932, N° 21
29,5 x 31 . Encre de Chine



140

Ex. 6



CANTATA (EX MACHINA)

G.SICA

Istituto di Fisica Sperimentale Gruppo
di Informatica Musicale - Napoli

1. CONSIDERAZIONI - TECNICHE DI REALIZZAZIONE

Risulta sempre difficile, per un artista, descrivere i contenuti di un proprio lavoro compositivo, poiché diventa arduo concretizzare motivazioni che affondano spesso le radici nell'astratto e nell'inconscio.

Tuttavia, nel caso di composizioni realizzate tramite sistemi digitali per la sintesi audio (che, per la loro metodologia d'approccio e di organizzazione procedurale "obbligano" il musicista a definire a priori enormi quantità di dati per creare eventi sonori anche di brevissima durata), risulta meno complesso esporre, se non proprio i contenuti, almeno i criteri di scelta e di realizzazione.

Nel caso di "Cantata (ex machine)", ci si è mossi partendo dal presupposto di considerare l'elaboratore oltre che come strumento realizzativo-esecutivo, anche come possibile "suggeritore" di spunti creativi: questa considerazione, scevra da ogni tipo di "antropomorfizzazione" romantica del computer, ha consentito la nascita di un singolare "feedback" tra l'uomo e la macchina, evidenziando oltretutto la duttilità tecnico-espressiva del sistema nel suo insieme, grazie anche alla varietà della biblioteca di programmi dedicati all'unità di generazione sonora.

Difatti, proprio uno degli "strumenti-software" realizzati per la scheda di sintesi audio "TROLL", permetteva, tra le altre caratteristiche, una interessantissima gestione degli inviluppi dinamici di eventi sonori complessi, come verrà più dettagliatamente esposto in seguito.

Veniva quindi sistematicamente sviluppato un attento studio delle possibilità formali e virtuali del programma, onde permettere una realizzazione musicale concretizzata nell'ambito delle capacità e dei limiti del programma stesso, piuttosto che ad una trasformazione allo scopo di adattarla alle esigenze della composizione propriamente detta.

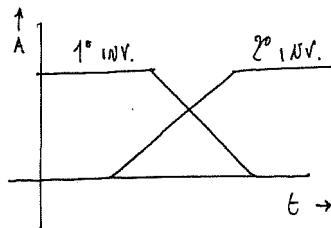
E' stato un criterio di scelta realizzativa motivo anziché limitante, poiché ha permesso di approfondire l'analisi tecnico-musicale in una ben precisa direzione, piuttosto che disperderla su molti fronti di ricerca, tutti senz'altro importanti, ma estremamente incoccludenti se affrontati contemporaneamente.

Nell'analizzare in particolare questo "strumento-software", in base al quale è stata realizzata "Cantata (ex machine)" si doveva accettare un compromesso dovuto al fatto che la gestione degli oscillatori della scheda (80) richiedeva molto "tempo macchina" al sistema di controllo della stessa (un personal computer Apple II), sia per la produzione di spettri armonici complessi, sia per questi particolari tipi di inviluppo, di cui si è fatto cenno sopra: ragion per cui, per problemi di accettabile velocità di esecuzione in "tempo reale" il tipo di valori di durata definibile per ogni singola voce (dalle 8 a disposizione) risultava molto limitato: questo, che apparentemente sembrava un impedimento considerevole, suggeriva piuttosto un'idea per la forma stilistica della composizione: l'uso di un unico valore di durata per ogni voce del lavoro (8 voci, ciascuna realizzata con 10 oscillatori), che assumeva così già i contorni di un "contrappunto" corale.

Un'altra caratteristica del programma, la variazione pseudo-casuale della fase di ciascun oscillatore, creava un peculiare effetto di specializzazione, e di 'phase shifting' di tipo lento, nonché delle micro-variazioni timbriche dell'imposto sonoro complessivo, cosa che rafforzava maggiormente la definizione degli attributi della composizione, cose sopra accennato.

Infine, la terza e forse più caratterizzante componente di questo eccellente e validissimo programma: la possibilità di realizzare degli inviluppi complessi contrapposti, di tipo lento, che agiscono nel seguente modo:

- a) mentre per il primo inviluppo (di una qualsiasi voce) si trova a percorrere lentamente il tempo di rilascio.
- b) inizia ad evolversi il tempo di attacco del secondo, che quindi si "incrocia" col "release-time" del primo, come illustrato in fig. 1.



Ed è proprio intorno a questo interessante tipo di inviluppo, chiave di volta dell'intero discorso fin qui condotto, che nasce la struttura definitiva di "Cantata (ex machina)", nonché l'ultimo e più significativo spunto 'suggerito' dalla macchina, e trasformato in una componente psicoacustica di estremo rilievo: la lenta variazione d'ampiezza di due inviluppi speculari permetteva e motivava la realizzazione di strutture polifoniche in sequenza estremamente diverse fra loro come rapporti intervallari sempre che, al varia-re dell'evento sonoro evolentesi nel successivo (cfr. fig.1), si avvertisse una netta e brusca differenziazione tra i rapporti "armonici" delle strutture stesse.

Ciò porta ad effettuare un ulteriore considerazione in relazione al fenomeno psicoacustico sopra descritto: sembra evidente quindi che uno shifting molto progressivo delle variazioni d'ampiezza con evoluzione opposta di due eventi sono ri verticali complessi, porti alla non percezione del contrasto intervallare esistente fra i due insiemi, o quantomeno ad una attenuazione di questo fenomeno psicoacustico normalmente conosciuto come "dissonanza".

Questo discorso merita di essere approfondito, per le implicazioni di carattere acustico-musicali che comporta, e per gli ulteriori sviluppi di cui può essere fatto oggetto.

Da quanto fin qui esposto, dovrebbe risultare evidente che, alla luce di questa esperienza, il calcolatore, nel campo dell'Informatica Musicale, possa fornire non solo mezzi e risorse tecniche, ma anche, nelle mani di un musicista "creativo", quel 'quid' particolare, fautore di idee, immagini, e spunti realizzativi.

VIII Sessione
SOCIOLOGIA E MUSICA

ALCUNI ASPETTI DEL RAPPORTO COMPOSIZIONE/MODALITÀ DI FRUIZIONE DELL'OPERA MUSICALE ALLA LUCE DELLE POSSIBILITÀ OFFERTE DALL'INFORMATICA.

DOMENICO CENA JORGE MARTINEZ FRANCESCO MICHI

Il presente lavoro tratta dell'introduzione, come interpretazione sistematica dello accadimento musicale, del concetto di modalità di fruizione, e della definizione di tale concetto come rete informativa nella quale il fatto musicale si esplica. Questo concetto verrà poi rapportato alla pratica musicale attuale, passando attraverso alcune considerazioni riguardanti il modo in cui le nuove tecnologie hanno mutato la sensibilità ed il modo di percepire il mondo.

1. INTRODUZIONE

Il nostro intervento è un tentativo di formalizzare alcune idee e osservazioni che sono scaturite dalla pratica compositiva. I concetti che enunciamo rappresentano una possibilità virtuale di fare colliare alcune nostre considerazioni sulla natura del fenomeno musicale. Ciò che ne risulta è, in definitiva un modello all'interno del quale le nostre osservazioni assumono significato, e, al tempo stesso, uno strumento conoscitivo applicabile all'accadimento musicale: osservazione e sistematizzazione sono dunque in posizione reversibile.

2. LA MODALITA' DI FRUIZIONE E UN SISTEMA

Raramente nell'analisi di un fatto musicale esso viene considerato come un accadimento reale che si è fisicamente svolto in un certo tempo ed in un certo luogo. Per lo più si pensa ad esso in maniera astratta e solo come fatto debolmente vincolato al contesto; un accadimento musicale è invece qualcosa di concreto e per essere tale necessità, ad esempio, di un luogo fisico, di esecutori, di un pubblico, di una certa ritualità, di una società ad un certo stato di sviluppo tecnologico ed economico. Tutti questi elementi concreti possono ad ogni diritto essere considerati come variabili costituenti un sistema. Per modalità di fruizione intendiamo l'accadimento musicale considerato come sistema. La modalità di fruizione è dunque una rete di informazioni che si propagano attraverso canali causali, nella quale la posizione di ogni singolo elemento è definita volta per volta e la creazione di immagini e idee avviene all'interno del sistema.

3. PAESAGGIO SONORO E SPAZIO ACUSTICO

Concetti come paesaggio sonoro e spazio acustico vengono usati da diversi autori per descrivere il sostrato fisico o al più psicofisico dello accadimento musicale o acustico; ci siamo chiesti allora se questi non rispondessero già alle caratteristiche di rete informativa che vogliamo dare al concetto di modalità di fruizione. L'idea di paesaggio sonoro sembra più di natura visiva che acustica e presuppone comunque un soggetto conoscente sostanzialmente esterno.

Questo concetto viene inteso come luogo fisico svincolato dalla funzionalità degli eventi che vi hanno luogo. Lo spazio acustico, pur integrando caratteristiche acustiche e psicoacustiche, resta sostanzialmente un luogo inerte, che risuona se eccitato, ma che non crea, esso stesso informazione.

Ciò che noi intendiamo per modalità di fruizione supera in un certo senso questi concetti integrando sistema e luogo fisico in una unità mentale di ordine superiore: un megasistema fra sistemi comunicativi nel quale viene negata ogni validità alla "distinzione tracciata (...) tra percezione ed azione, afferenza ed efferenza, ingresso e uscita". (Bateson).

4. MODALITA' DI FRUIZIONE E ASCOLTO

Nemmeno il "tipo di ascolto", così come lo intende Adorno, è assimilabile al concetto di modalità di fruizione, esso infatti, oltre a sottolineare l'estranietà di produttore e percipiente, rivela una sostanziale incapacità nel comprendere il fatto musicale non esclusivamente come evento astratto, ma anche come struttura mentale di elevatissima complessità nella quale vengano riassorbiti, in posizioni comunque reversibili luogo fisico, produzione, rito e ascolto.

COMPOSIZIONE / MODALITA' DI FRUIZIONE

5. LA MODALITA' DI FRUIZIONE DEL CANTO GREGORIANO

Cercheremo ora di dare un'idea concreta di cosa intendiamo per modalità di fruizione usando un esempio. Consideriamo il canto gregoriano inteso come accadimento musicale. Come tale esso viene descritto, ad esempio, da questi elementi:

- A) Viene eseguito nel monastero da cantori esperti, per un pubblico che è lo stesso insieme degli esecutori (Schneider);
- B) Il canto viene eseguito in un preciso momento del giorno, mese, anno ed ogni canto santifica quel preciso momento (Schneider);
- C) Particolarità del luogo di esecuzione: esso deve rispondere a determinati requisiti architettonici e quindi acustici.
- D) L'evento musicale "canto gregoriano", cioè l'esecuzione effettiva di un particolare canto;
- E) Economia autarchica del monastero;
- F) Lentezza, se non addirittura chiusura, al propagarsi delle informazioni, regresso tecnologico (strade distrutte, sostituzione del rotolo col tomo, scansione regolare del tempo, nella quale venivano inserite tutte le attività del vivere sociale) (McLuhan, LeGoff);
- G) Monastero come isola-classe elitaria o selezionata.

Questi elementi non esauriscono completamente la descrizione dell'evento, ma possono bastare per dare un esempio di quelle reti informative che determinano una certa modalità di fruizione.

Schematizzando abbiamo costruito il seguente modello:

La modalità di fruizione del canto gregoriano è il sistema nel quale le varie sono costituite (sempre per restare nei limiti del nostro esempio) dagli elementi prima citati. Ogni elemento, per ragioni di chiarezza e di semplicità in questo contesto, può essere inteso come un sistema di ordine inferiore, del quale supponiamo di conoscere perfettamente le caratteristiche.

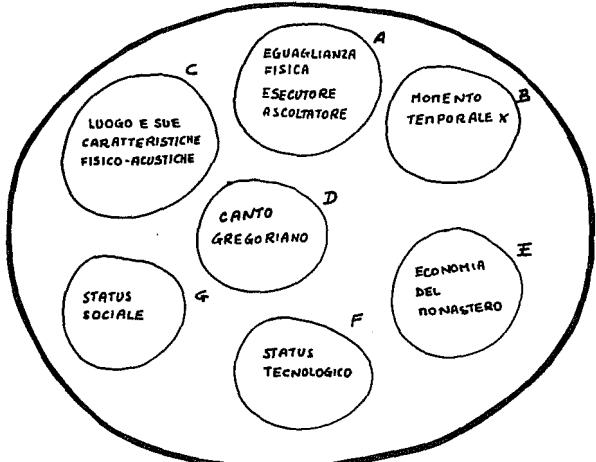
La rete informativa è data dall'esistenza di questo particolare contesto. Qualora uno degli elementi (o sistemi inferiori) venisse a mancare, non sussisterebbe più quell'accadimento musicale nella sua compiutezza simbolica o nella sua qualità di "mente" che crea informazione. Sia detto per inciso che le variazioni all'interno dei sistemi inferiori sembrano essere ciò che provoca l'evoluzione storica del sistema superiore.

I canali causali saranno i nessi tra i diversi sottosistemi, le unità informative saranno le microvariazioni contestuali all'interno della durata dell'accadimento.

Ad es: Il rapporto tra i sistemi inferiori C e D si esplica attraverso la trasformazione dell'informazione emessa dal cantore (o comunità di cantori) per il tramite dei tempi di riverbero e le frequenze di risonanza dell'ambiente, ed il risultato di questa trasformazione è che il suono risultante avvolge la comunità dei cantori in un continuum consonante e che questa circostanza è funzionale al sistema (Blaukopf, Schneider).

6. APPLICABILITA' DEL MODELLO

Dopo aver tentato di costruire un modello di carattere generale vediamo fino a che punto esso possa essere applicato



alla situazione artistica contemporanea. Analizzeremo ora alcuni rapporti fondamentali fra gruppi di sottosistemi, quelli in particolare che riguardano la realtà tecnologica, sociale ed economica del nostro periodo, e quelli che riguardano gli aspetti produttivi dell'opera.

Le nuove tecnologie - e la tecnologia tout court - cambiano i limiti ed i confini dell'uomo e della natura creando nuove prospettive e nuove espressioni. Nasce oggi una nuova "forma di vedere" nella quale i limiti fra l'uomo in quanto soggetto e la natura in quanto oggetto diventano vaghi e mutanti. In termini più specifici viviamo il declino della centralità del soggetto e con esso la caduta di ogni progettualità controllabile ovvero di ogni produzione di senso esclusivamente individuale.

A livello musicale dunque, viene superato il dualismo tra ontologia ed epistemologia dell'ascolto e, se l'essere e il metodo diventano uno solo, nelle nuove opere il processo artistico potrebbe diventare - e in certi casi diviene - l'oggetto estetico.

7. PERCEZIONE E TECNOLOGIA

Abbiamo visto che una certa modalità di fruizione è in stretta relazione col progresso economico, tecnologico, e scientifico della civiltà in oggetto. E' certo che questi tre elementi, oltre a cambiare in senso materiale i modi di vita, alterano la sensibilità dell'individuo e che, d'altra parte, ricevono essi stessi una spinta al proprio sviluppo dai mutati rapporti tra i sensi in un feedback costante.

E' interessante notare come oggi l'ingresso di quelli che McLuhan chiamava media elettrici in profondità nell'esistenza di tutti i giorni cambia velocemente i modi di vita e i modi di partecipare all'informazione. McLuhan stesso ha studiato a fondo il problema ed ai suoi libri rimandiamo ovviamente per una trattazione specifica dell'argomento: è necessario, però, ricordare come egli nei suoi lavori sostenga che le caratteristiche intrinseche dei media si riflettono direttamente sui modi e sulle strutture di pensiero del fruitore, a prescindere dai contenuti che attraverso di esso si vogliono far passare. In questo senso "il medium è il messaggio".

8. IL MONDO DEI MEDIA ELETTRICI

Il mondo in cui adesso viviamo è un mondo plasmato dall'unione dei media elettrici ed informatici.

La nostra vita viene condotta in un ambiente nel quale più informazioni vengono fornite all'individuo ormai simultaneamente: si mangia mentre si parla e si ascolta la televisione; si ascolta musica registrata in un disco mentre si beve, si parla, si legge. La nostra stessa cultura musicale di base, quella che passa attraverso la vita di tutti i giorni, è nutrita molto più precisamente dai suoni e dalle musiche che carpiamo qua e là per le strade da radio di altri, stereo ad alto volume in case vicine, ecc., mentre ci muoviamo, o mentre lavoriamo, piuttosto che da ciò che recepiamo nelle sale da concerto o nei teatri. In ultima analisi il modo in cui apprendiamo e fruiamo casualmente degli stimoli sonori e musicali che si trovano "liberi" nell'ambiente, e che per comodità possiamo definire "superficiale", costituisce ormai la nostra unica struttura di ascolto, valida per qualunque contesto. Contemporaneamente le possibilità offerte dagli stessi media di poter essere simultaneamente - sensorialmente e cerebralmente - in luoghi diversi, genera la impossibilità di percepire in modo distaccato gli stimoli e gli avvenimenti: siamo tutti immersi in un flusso di stimoli discritti che non richiede per la sua intelligenza di essere razionalizzato. Flusso e simultaneità relativizzano in un certo senso l'informazione, la spogliano del suo carattere di comunicazione in senso stretto, cioè di contenitore per un contenuto specifico. In generale l'intero concetto di verità, ed anche quello di realtà, si è evoluto: ciò che oggi si intende per "vero" potrebbe con maggior precisione essere definito "altamente probabile" oppure "statisticamente provato". Ancora, il nesso causa/effetto non sembra più essere un modello soddisfacente per la spiegazione dell'intera realtà.

9. FARE MUSICA OGGI

Quello che emerge, in ultima analisi, è che l'attenzione dell'uomo si è spostata dalle categorie e dai concetti alle esperienze ed alle percezioni e, se la creatività come attività è legata alla capacità di sentire sublimalmente le modificazioni dell'ambiente, dovrebbe essere possibile rintracciare nel prodotto artistico un sintomo di queste modificazioni che si manifesti nelle pratiche, negli eventi, nelle teorie.

Il compositore, sia che appartenga all'area colta sia che si occupi di musica di consumo, ha ed ha sempre avuto la possibilità, il compito e la necessità di riportare insieme i pezzi che compongono

il processo musicale nella sua totalità, dall'idea all'ascolto, e forse solo oggi le soluzioni possono essere diverse e più vari i rapporti tra i pezzi. Nel panorama musicale odierno, al contrario, è più frequente il caso di chi ignora quali siano gli elementi del gioco e si comporta come cento anni fa: esistono di fatto molti esempi di discrepanza tra il mondo in cui si vive e la maniera di progettare e di agire in campo artistico. Analizziamo ora il modo di operare di alcuni musicisti e vediamo come nel loro lavoro sia presente, sebbene in diverse forme, una coscienza completa dell'esistenza di una rete informativa fra gli elementi di un accadimento musicale.

10. PARADOSSI DEL RITO DELL'ASCOLTO MUSICALE

Nel brano di John Cage dal titolo 4'33" l'esecutore entra in scena e, per 4' e 33" resta in silenzio seduto davanti al pianoforte. Non è possibile classificare questo atteggiamento come una provocazione dell'autore nei confronti del pubblico e non è possibile solo perché esiste un nucleo concettuale chiaro che si rende garante di tale accadimento. Schematizzando potremmo affermare che il concetto è questo: l'arte è vita ed è meglio accettare i suoni piuttosto che cercare di controllarli. Quindi "i suoni accidentali compresi nei 4'e 33" sono la mia opera".

La trasformazione del suono accidentale in un'opera di John Cage è però permessa solo in questa o in altre occasioni simili, perché ci troviamo in un teatro e perchè un certo pubblico è venuto per ascoltare il lavoro di un compositore: in questo contesto soltanto i suoni dell'ambiente diventano evento estetico. In questo modo viene a crearsi un sistema chiuso dove ogni elemento non avrebbe lo stesso senso se preso a sé e dove l'idea del compositore non è altro che la progettazione dei rapporti tra gli elementi di una rete informativa.

L'evento musicale, dunque, è significante solo nella sua totalità, cioè all'interno di una modalità di fruizione, ma bisogna fare attenzione a non scambiare questa affermazione per la giustificazione teorica di un'estetica sociologizante venata di romanticismo dove è il compositore a voler comunicare qualcosa ad un pubblico che ne è il destinatario. Nella nostra analisi la prospettiva è rovesciata. Il concetto non è posseduto da colui che agisce, ma è il prodotto di tutti gli elementi della rete. Al compo-

sitore rimane il ruolo di creare dei meccanismi all'interno dei quali la creazione di senso possa avere luogo: egli viene trasformato da creatore di senso in demiurgo del senso.

11. MUSICA COME PROCESSO

Esistono altri lavori che manifestano in maniera molto evidente la natura sistematica del fatto musicale, e nella misura in cui palesano una struttura generale possono essere considerati dei "capolavori".

Uno di questi è "I'm sitting in a room" di Alvin Lucier di cui riportiamo la partitura verbale: "I am sitting in a room different from the one you are in now.

"I am recording the sound of my speaking voice and I am going to play it back into the room again until the resonant frequencies of the room reinforce themselves so that any semblance of my speech, with perhaps the exception of rhythm, is destroyed.

"What you will hear, then, are the natural resonant frequencies of the room articulated by speech.

"I regard this activity not so much as a demonstration of a physical Fact, but more as a way to smooth out any irregularity my speech might have".

In sostanza la sequenza delle azioni è questa: - leggi questo testo e registralo, ascolta ciò che hai registrato e con un microfono registralo nuovamente, ripeti l'operazione diverse volte. Già questa prima descrizione sottolinea l'impossibilità di circoscrivere l'oggetto, il prodotto dell'azione dell'artista. Ciò che alla fine si ascolta, infatti, è la frequenza di risonanza di una stanza citata dalla voce dell'esecutore, e cioè una caratteristiche fisica di un ambiente, ma anche il processo che ha permesso a tale caratteristica di manifestarsi. In questo caso il rito d'ascolto, il luogo e il fatto acustico vero e proprio possono variare proprio perchè assumono valore come elementi di un processo dinamico e la varietà dei rapporti e delle figure che si creano rispecchia la complessità razionalmente insondabile di ogni divenire.

12. FATTO E RAPPRESENTAZIONE

Ogni evento, dal momento che accade, presuppone tutti gli elementi ed i rapporti fra di essi che costituiscono il sistema di cui fa parte e questo prescindendo da quale sia effettivamente quel sistema. Nel caso dell'evento musicale questo fatto implicherebbe l'impossibi-

bilità di un discorso critico basato sul concetto di modalità di fruizione a meno che non si ricorra ad una ulteriore distinzione che introdurremo ricorrendo all'esposizione di un lavoro di Albert Mayr. Si tratta di una composizione preparata per un concorso indetto nell'ambito di quella che viene chiamata arte postale ed è intitolata "Troghi Sound". Una scatola per tabacco metallica contenente qualche sassolino è stata spedita alla giuria del concorso con una lettera di accompagnamento dove viene spiegato che il brano è composto da tutti i suoni che gli addetti alle poste hanno provocato trasportando il pacco. In questo caso, quando gli interessati ne hanno notizia, il brano musicale è propriamente detto e già terminato ed è stato ascoltato da persone inconsapevoli della sua natura "artistica"; la creazione di senso, cioè, avviene solamente nel momento in cui l'evento è irrimediabilmente finito, perso, sfuggito. Che cos'è allora che i giurati del concorso hanno giudicato dopo aver letto il contenuto della lettera? Nonostante la domanda resti senza risposta essa ci può suggerire che esiste un livello di rappresentazione dell'accadimento che non corrisponde necessariamente all'idea che noi ci facciamo dei risultati sonori, ma che è un'immagine tendenzialmente isomorfa all'originale. Dunque tutti noi, compreso il demiурgo, o se vogliamo, il compositore, ci raffiguriamo i rapporti tra gli elementi del meccanismo nel quale siamo immersi o che vogliamo avviare: nel caso del compositore tali rapporti costituiscono la rete informativa della progettazione o produzione intesa come sistema. Solo nella discrepanza tra l'accadimento reale e l'immagine che di esso viene prodotta è rintracciabile la possibilità di un esercizio critico. Quindi, fermo restando che andare a controllare qual'è la rappresentazione dell'evento da parte di ognuno dei componenti il pubblico sembra, se non altro, perlo meno complicato, ciò che è interessante è che il lavoro di chi produce musica può essere giudicato in base a ciò che egli crede di fare e ciò che in realtà fa: in base cioè a come nella sua opera si esprime il rapporto fra i due sistemi della produzione e della modalità di fruizione.

13. COMPOSIZIONE E ACCADIMENTO MUSICALE

Partiamo quindi da questa ulteriore distinzione per esaminare quella che è la pratica compositiva corrente nel campo della computer music: prendiamo ad esem-

pio un compositore astratto che si siede al terminale e compone. Seguendo una qualche idea egli crea un oggetto musicale, formalmente e strutturalmente compiuto, finito. Il nostro compositore penserà a questo punto che, visto che ha operato con così tanta cura per selezionare e ordinare tutti i materiali, ciò che il pubblico deve ascoltare deve essere proprio quello che lui ha registrato su nastro, ed egli crede che questo sia possibile. Ciò che invece accadrà nella sala da concerto sarà molto diverso. L'ambiente d'ascolto infatti modificherà la composizione, certi suoni non verranno percepiti, certi verranno rinforzati, tempi di riverbero troppo lunghi sovrapporranno suoni temporalmente disintegriti e così via. Tutto sommato queste deformazioni, che possono sembrare anche secondarie, assumono tutt'altro valore se confrontate con la minuzia e precisione con cui il compositore prepara i suoi lavori: la rete informativa che si viene di fatto a creare nel momento dell'ascolto è dunque diversa da come il compositore l'aveva, consciamente o no, pensata, perché l'elemento acustico ha stabilito una relazione non voluta con l'ambiente.

Si potrebbe obiettare che questa deformazione del risultato acustico esiste comunque da sempre e sarebbe una osservazione corretta, ma essa non tiene conto che mentre in altri periodi storici la coscienza di certe relazioni tra ambienti e risultati acustico era comunque un presupposto dell'azione del musicista, oggi si tende per lo più ad ignorarla. Nel canto gregoriano, eseguito in ambienti ampi e molto risonanti, "la perdita delle alte frequenze, e la risultante impossibilità di localizzare il suono, rendono il credente parte di un mondo sonoro. Egli non è in estasi di fronte al suono, ne è come avviluppato" (Blaukopf).

La musica da camera del 700, in cui è necessario separare il fatto acustico controllato e voluto da quello frutto di interazioni con l'ambiente, riesce a stabilire questa scissione solo perché tra gli insiemi che costituiscono la sua modalità di fruizione esiste il sostosistema linguaggio a cui il fatto acustico e la percezione di tale fatto fanno costantemente riferimento. Infatti, se per l'ascoltatore di musica da camera è molto semplice, senza far ricorso ad altri sensi, stabilire che il cigolio particolarmente acuto che provoca lo spettatore di seconda fila muovendosi sulla sedia non fa parte della composizione che è venuto ad ascoltare, per

l'ascoltatore di tape-music il problema è sicuramente più complesso.

In questo senso quindi il sistema che generalmente si crea durante l'ascolto di un brano di computer music non è funzionale, o meglio, non è funzionale il rapporto fra produzione e modalità di fruizione. In altre parole chi agisce in questo modo crede di fare una cosa e ne provoca un'altra, renuendo perciò l'accadimento musicale un accadimento puramente concettuale e astratto.

Sempre per quanto riguarda la non funzionalità di un sistema c'è un altro fatto da notare, ma prima di esporlo bisogna avvertire chi ci ascolta (o legge) che stiamo entrando nel campo delle illazioni personali: per farlo infatti dovremo parlare di quel sottosistema della modalità di fruizione che noi chiamiamo "percezione del mondo". Secondo noi infatti il modo di percepire è cambiato, come abbiamo già detto in precedenza, ma per sostenere questa tesi non abbiamo che osservazioni empiriche, "sonde(...)" di natura altamente ipotetica e provvisoria, utilizzate come meccanismi di esplosione" (McLuhan).

14. COMPOSIZIONE E ORGANIZZAZIONE PERCETTIVA

L'osservazione in sostanza è questa: il pubblico che va ad un concerto è lo stesso che ascolta alla radio indifferente jazz, rock, sinfonie, passando da uno all'altro con disinvoltura, spesso interrompendo il brano; è lo stesso che seduto davanti alla TV cambia continuamente canale con il telecomando; è lo stesso che durante tutto l'arco della sua giornata viene a contatto con media che deformato spazio e tempo. Ebbene questo pubblico non ha più nessun interesse a fruire l'opera finita di un compositore perché ne può ascoltare altre cento, in momenti e riti che egli stesso sceglierà; se il rito d'ascolto sopravvive nei modi in cui lo conosciamo oggi è solo perché esso ha assunto il valore di status-symbol intellettuale e sociale.

Dal momento che il rito d'ascolto seleziona tra tutte le possibili composizioni quelle che possono essere eseguite seguendo proprio quello stesso rito, alla sopravvivenza di esso è legato il perdurare di un modo di fare musica inteso come esternazione di idee personali e come mossa individuale nel gran gioco della cultura. E' altrettanto certo, però, che si vive nella fase di passaggio dall'importanza del messaggio all'importanza del massaggio: noi non desideriamo

essere parte di quella particolare rete informativa, noi desideriamo comunque immergerci in una rete informativa. Ma non è tutto per il nostro computer-musicista, egli è anche costretto, per rispettare i tempi e i modi imposti dal rito di ascolto, ad usare lo strumento di cui dispone in maniera abnorme. Il computer che entra nel mondo della musica non può essere visto soltanto come mezzo d'aiuto per la realizzazione della idea del compositore: esso non è solo uno strumento d'aiuto alla composizione o alla produzione del suono, ma un nuovo strumento tout court che ha delle possibilità inerenti alla sua stessa natura e potenzialità particolari. Questo significa che il computer stesso può creare idee.

Per rimanere nell'ambito italiano si può ritrovare nell'opera di Grossi un segno di questa particolare attenzione e sensibilità verso le possibilità inerenti al mezzo elettronico.

La caratteristica principale di questo strumento è quella di automatizzare i processi, alla quale è legata la possibilità di produrre moltissimo e di variare senza ulteriore sforzo, il prodotto.

Viviamo l'inevitabile svuotamento di senso di certe azioni: da una parte il pubblico non ha bisogno di ascoltare l'opera intesa come frutto definito e concluso, di un compositore, dall'altra chi agisce continua ad organizzare i suoni accompagnato dal dubbio profondo che se avesse scelto un timbro invece che un altro sarebbe forse stata la stessa cosa, anzi, che potrebbe fare oggi una versione con il primo timbro e domani una con il secondo.

15. PRODURRE MUSICA: UNA NOSTRA ESPERIENZA.

Quali sono quindi le possibilità di azione che si presentano davanti al musicista? Ovviamente non è possibile dare una risposta che valga per tutti, ci limiteremo ad esporre un nostro lavoro realizzato coerentemente alle osservazioni prima esposte: la performance si intitola "Distributore di suono". Nel programma di sala essa viene descritta così:

- 1) Il "distributore di suono" è una macchina che somministra suoni e silenzi indiscriminatamente, senza nessuna pretesa di consequenzialità: tradizionali termini antecedente/conseguente, passato/futuro possibili solo in una esistenza intesa come sviluppo, non hanno per Lei alcun significato.
- 2) Questa macchina non ha memoria perché vive nell'istante. Ogni evento

sommministrato, sia suono o silenzio, non ha ragione nell'evento precedente e non costituisce ragione per quello successivo.

Un solo evento è. Il secondo è secondo perché l'abbiamo giudicato appartenente alla stessa serie del primo. La discriminazione fra ripetizione e variazione presuppone memoria.

- 3) Proprio come il distributore di chewing-gum davanti alla porta dei bar il distributore di suoni è del tutto indifferente alla qualità. Se dal distributore uscirà due volte di seguito una pallina di chewing-gum blu questo è del tutto indifferente dal punto di vista del distributore: egli non voleva creare una serie, ha soltanto eseguito un'operazione di estrazione casuale.
- 4) La nostra macchina convive con altre bio-macchine che di tanto in tanto manifestano in forma sonora la loro presenza.

Per la realizzazione abbiamo utilizzato un programma che controlla statisticamente la ricorrenza degli eventi sonori e con questo abbiamo ottenuto la partitura. La durata totale del brano è di 4 ore ed è pensato per un luogo aperto in modo che il pubblico sia composto per la maggior parte da passanti distratti. La partitura prevede lunghe pause in modo che i rumori dell'ambiente possano essere uditi e quindi che il nostro lavoro emerga solamente come la modifica di un ambiente altrimenti familiare.

16. CONCLUSIONE.

Questo è solo un esempio, e non è certamente l'unico modo di concepire il rapporto produzione/modalità di fruizione: gli stessi media elettronici possono suggerire altri mezzi, la costruzione di macchine appropriate e dedicate a scopi particolari.

Concludendo, quello che ci sembra urgente rimarcare è che la computer music ha bisogno di un ripensamento e di una presa di coscienza del rapporto produzione/modalità di fruizione, sia anche delle possibilità strutturali del mezzo, così da riproporre l'immagine del musicista artigiano, che modifica il mondo agendo su di esso e all'interno di esso.

17. BIBLIOGRAFIA.

Adorno T.W., Introduzione alla Sociologia della Musica, (Einaudi PBE Torino, 1971).

Ashby, N. Ross, Introduzione alla Cybernetica. (Einaudi, Torino, 1971).

Bateson, Gregory, Verso una ecologia della Mente. (Adelphi, Milano, 1976).

Blaukopf, Kurt, Sociologia della Musica. Introduzione ai concetti fondamentali con particolare riferimento alla sociologia dei sistemi tonali. (A cura del Centro per l'educazione Musicale e per la Sociologia della Musica, Libera Università di Trento, 1973).

Cage, John, Per gli Uccelli. (Ed. Multiplica, Milano, 1977).

Cage, John, Silenzio. (Ed. Feltrinelli, Milano, 1980).

Caffery, Steve, Marshall McLuhan: Linguaggio x Musica. (Musica e realtà N.10; Ed. Unicopli, Milano, 1983).

Dubuffet, Jean, Asfissiante Cultura. (Ed. Feltrinelli, Milano, 1969).

Ferraris, Maurizio, Le Belle Tecniche (In Alfabeta n.29, Ed. Coop. Intrapresa, Milano, 1981).

Formenti, Carlo, D.I.O. (in Alfabeta N.29 Ed. Coop. Intrapresa, Milano, 1981).

Fubini, Enrico, Musica e linguaggio nella estetica Contemporanea (Ed. Einaudi, PBE, Torino, 1973).

Fubini, Enrico, L'Estetica Musicale dal Settecento ad Oggi. (Ed. Einaudi, PBE, Torino, 1969).

Grossi Pietro, Note Introduttive al disco "Computer Music" (Ed. Two Nuns, 1972).

Hauser, Arnold, Sociologia dell'Arte. (Ed. Einaudi, Torino, 1977).

Heidegger, Martin, La Questione della Tecnica. (in: Saggi e Discorsi, Ed. Mursia, Milano, 1976).

LeGoff, Jacques, Tempo della Chiesa e Tempo del Mercante. (Ed. Einaudi, Torino, 1977).

Lucier, Alvin, I'm sitting in a Room. (Reprinted Chambers, Wesleyan University Press, 1980).

Lyotard, Jean François, La Condizione Post-Moderna. (Ed. Feltrinelli, Milano, 1981).

McLuhan, Marshall, Dall'Occhio all'Orecchio. (Ed. Armando, Roma, 1982).

COMPOSIZIONE / MODALITA' DI FRUIZIONE

McLuhan, Marshall, Gli Strumenti del Comunicare. (Ed.Garzanti - Il Saggiatore, Milano, 1977).

Mayr, Albert, Mezzi elettroacustici e ambiente sonoro. (in:Laboratorio Musicale, Novembre 1980).

Mayr,Albert, Comporre L'Ambiente (in Musica domani n.39).

Mayr, Albert, R.MURRAY Shafer. (in Musica Domani, n.36).

Mayr,Albert, I Mezzi elettroacustici nel Sociale. (in Musica e Politica, La Biennale di Venezia,Marsilio,Venezia, 1977).

Mayr Albert, Suono Ambiente.(in Segno 2/3, Pescara, 1977).

Mila,Massimo, Breve Storia della Musica. (Ed. Einaudi,PBE,Torino,1963).

Mila,Massimo, L'esperienza Musicale e la Estetica. (Ed.Einaudi PBE,Torino,1956).

Minsky,Marvin,"L'intelligenza artificiale" Alfabeta n. 46,marzo 1983. Coop.Alfabeta,Milano)

Prieberg,Fred K., Musica ex machina. (Einaudi, Torino, 1975).

Russolo, Luigi, L'art des bruits.(L'age de l'homme, Losanna, 1975).

Russolo Luigi, L'arte dei rumori.(Edizioni futuriste di "poesia",Milano,1916)

Schaeffer Pierre, Traité aux objets musicaux. (Edition du Seuil,Parigi,1966).

Shafer,R.Murray, The music of the environment. (Universal Edition,Vienna,1973).

Shafer,R.Murray, The tuning of the world. (Dnopf,New York, 1976).

Schneider,Marius, Il significato della musica. (Rusconi,Milano,1970).

STUDI PER UNA METODOLOGIA DELLA COMPOSIZIONE MUSICALE

ANTONIO DORO

Conservatorio di Sassari

Il presente lavoro raccoglie un'serie di studi intorno ad alcuni problemi legati al realizzarsi del pensiero compositivo musicale, i quali sono stati definitivamente messi in luce nel corso dell'incredibile sviluppo della musica del nostro tempo, ma che sono stati presenti in una maniera più o meno implicita in altri momenti della storia della musica occidentale. Fra i problemi presi in considerazione, la definizione formale dei processi del ragionamento compositivo, la relazione dialettica fra singole opere e prospettive teoriche generali connesse al problema della costruzione di modelli descrittivi ed esplicativi di tipo formale, matematico o logico-matematico, vengono analizzati attraverso alcuni importanti concetti di natura logica e per questa via ricondotti ad alcuni fondamentali problemi della conoscenza. Questi studi sono culminati nella creazione della mia "Composizione I-A per strumenti 1981".

1. INTRODUZIONE

Deve essere in primo luogo sottolineato che questo insieme di studi è la conseguenza di una riflessione condotta "dall'interno" della disciplina musicale sul fronte stesso della ricerca operativa. L'emergenza di sempre nuovi problemi e tematiche con implicazioni di notevole portata generale ha contribuito a formare la consapevolezza che vi fossero nel pensiero musicale contemporaneo alcuni nodi problematici che si sarebbero dovuti affrontare con strumenti concettuali nuovi ed adeguati.

Una serie di questi nodi problematici sembrano proprio determinarsi intorno al problema della "razionalità" e dello sviluppo logico del pensiero, quando quest'ultimo si realizza nei processi e nelle forme dell'arte e della musica. Com'è noto, proprio nella musica del nostro tempo, o almeno in una sua determinata parte comunque fondamentale, questo problema si è imposto alla nostra attenzione in maniera molto potente e - si potrebbe affermare - in una maniera molto più potente che nelle altre arti.

Il presente lavoro è dedicato ad una maggiore determinazione del problema, attraverso una caratterizzazione della struttura formale del discorso musicale e dei metodi di ragionamento con l'ausilio degli strumenti analitici della logica matematica e facendo riferimento alle discussioni filosofiche-critiche contemporanee.

Deve essere comunque osservato che le tematiche di carattere generale che pure possono venir discusse non saranno certamente affrontate con l'autorevolezza di chi, per collocazione professionale, è quotidianamente impegnato in una sistematica riflessione intorno ad esse: chi di noi è filosofo o se vogliamo musicologo. Piuttosto saranno affrontate nello stesso spirito per cui, ad esempio, Einstein una volta avvertì che "il fisico non può semplicemente lasciare al filosofo la considerazione critica dei fondamenti teorici: è lui infatti che sa meglio (...) dov'è che la scarpa fa male!".

Il considerare questo fatto a proposito di questo

specifco discorso dà la possibilità di mettere in evidenza l'importanza della funzione che una seria e accurata riflessione intorno ai problemi accennati può svolgere per gli sviluppi concreti della disciplina musicale. Non si tratta di acquisire un'astratta coscienza metodologica la quale poco può influenzare il corso della concreta ricerca, ma piuttosto di maturare una consapevolezza feconda sulla natura del nostro lavoro che può realmente orientare l'intelligenza fino a farle scoprire territori inesplorati.

Se è vero - come sostiene Ludovico Geymonat - che "E' un fatto incontestabile che l'umanità ha dapprima agito e poi costruito teorie sull'azione", è però anche vero che "riconoscere con franchezza questo stato di cose non significa affatto (...) - continua il nostro autore - negare o sottovalutare la funzione spettante al momento della riflessione; non meno incontestabile è, infatti, che quest'ultima ha potuto, in mille casi, fornire all'umanità mezzi efficacissimi onde perfezionare e potenziare le azioni che già stava compiendo".² A titolo esemplificativo basti pensare al meraviglioso impulso che le discussioni intorno al cosiddetto problema dei fondamenti della matematica diedero allo sviluppo della logica formale, la cui storia dal 1900 al 1930 ca coincide con la storia di quelle discussioni. E se qualche autorevole matematico - per esempio Jean Dieudonné³ - sembra oggi voler ridimensionare l'influenza che queste indagini logiche possono aver esercitato nella pratica matematica, altri studiosi - come lo stesso Geymonat⁴ - ritengono di grande importanza la maggiore conoscenza dei procedimenti argomentativi, in matematica come nei discorsi comuni, prodotta da quelle ricerche, poiché questa conoscenza costituisce un primo passo verso una accresciuta efficacia dei nostri ragionamenti.

Per quanto concerne direttamente la musica del nostro tempo è appena il caso di ricordare la grande elaborazione di idee, di natura critica, sulle molteplici implicazioni generali della propria ricerca musicale che ha costantemente caratterizzato l'opera di musicisti quali Boulez o Xenakis: molti dei loro ragionamenti potrebbero

entrare nella storia delle idee della nostra epoca.

Vi è inoltre un'altra questione molto importante di cui una riflessione attenta può renderci consapevoli.

Va osservato che certi fenomeni caratterizzanti la musica del nostro tempo possono essere letti sotto un particolare profilo critico in cui la stretta connessione fra il pensiero musicale e la cultura attuale risulta in tutta la sua evidenza. Si tratta da un lato della convergenza nella disciplina musicale di molteplici campi di indagine (scientifica) quali fisica acustica, psicoacustica, informatica, logica ecc. ..., dall'altro della possibilità che vengano studiati molti processi musicali, sia con finalità analitico-scientifiche che propriamente compositive, ricorrendo a concetti e modelli esplicativi e descrittivi elaborati in campi di indagine abbastanza lontani e per oggetti di natura extramuscale: biologici, fisici, sociali e così via. Si muove in questa direzione l'intuizione di Xenakis⁵ di poter costruire per via assiomatica lo spazio delle altezze utilizzando i ben noti cinque assiomi di Peano dopo aver sostituito le nozioni primitive "uno", "numero" e "successore" con "origine", "nota" e "successore". E' abbastanza facile prevedere, sulla base di alcune ricerche in corso, che vengano ben presto applicati alla musica dei modelli teorici che si sono proposti, fin dalla loro nascita, con un alto grado di generalità, quali la "teoria generale dei sistemi" di L. von Bertalanffy, i "sistemi a debole stabilità" di T. Prigogine, "la teoria delle catastrofi" di R. Thom.

Non meno importante è il ruolo giocato dalla matematica nella recente storia musicale, che è del tutto analogo a quello svolto rispetto alle diverse discipline sin dalla nascita della scienza moderna.

Sembrerebbe lecito a questo punto tentare un'analogia con un fenomeno ormai molto diffuso nella scienza contemporanea: la cosiddetta "integrazione di teorie", fenomeno correlato alla costituzione delle "discipline trasversali". Può definirsi l'integrazione di teorie, in relazione ad un contesto interdisciplinare, come "la costituzione e lo sviluppo di molteplici teorie (o discipline) che vengono generate dalla convergenza di teorie (o discipline) vicine e che raggiungono però un'unità compiuta, tanto che possono retroagire fattivamente sulle teorie di partenza"⁶. Basti pensare a discipline quali psicolinguistica, sociolinguistica. E come esemplificazione dell'ormai raggiunta collaborazione fra scienze della natura e scienze dell'uomo, grazie alla quale antiche barriere sono state definitivamente abbattute, si pensi alle ricerche di antropologia globale, di sociobiologia, di psicobiologia, ecc.. "Da questo punto di vista - afferma Paolo Rossi - le linee di demarcazione fra l'una e l'altra disciplina (anche quelle fissate con tanta cura dagli epistemologi) tendono sempre

più ad apparire come membrane semipermeabili invece che come fossati invalicabili".

Alla luce di quanto fin qui osservato c'è ragione di osservare che un simile dinamismo debba coinvolgere diversi piani dell'attività umana e che fra arte e scienza possano aprirsi (o si sono già aperti) varchi fecondissimi che dovrebbero condurci a riconsiderare la consueta demarcazione fra i due domini, riconoscendo decisamente all'arte una funzione cognitiva.

Nella pratica e nella riflessione musicale sembrerebbe già in atto quella reciproca fecondazione fra scienza e cultura teorizzata da Isabelle Stengers,⁷ se Jannis Xenakis può spingersi così avanti nell'affermare che "l'artista concepitore dovrà possedere conoscenze (...) in campi svariati come la matematica, la logica, la fisica, la chimica, la biologia, ..."? E poco più sopra aveva affermato che "niente ci impedisce di prevedere da ora in avanti una nuova relazione fra le arti e la scienza, particolarmente tra arti e matematica, nella quale l'arte potrebbe coscientemente 'porre' problemi per i quali i matematici si sentirebbero obbligati ad inventare nuove teorie".⁸

2. IL PROBLEMA DELLA RAZIONALITÀ NELL'ARTE

2.1. Razionalità e attività umane: arte e scienza
Se ci si pone la domanda di quali siano i criteri che guidano il pensiero musicale nella elaborazione sia di concezioni generali che di opere particolari, ci si trova di fronte a varie risposte, formulate in questa o in quella corrente di pensiero, che tendono a ricondurre tali criteri a categorie tra le più varie quali, per esempio, immaginazione, ispirazione, intuizione, ragione e così via.

E' comunque un'opinione abbastanza diffusa, e non solo all'interno del senso comune, che l'arte sia il tipico prodotto di un pensiero tendenzialmente soggettivo, dal quale è assente quella sistematicità e quel rigore che sono propri invece del pensiero scientifico, il quale ultimo, è - come molti autorevoli studiosi sono disposti ad ammettere, per esempio lo stesso Kuhn⁹ - il miglior modello di razionalità.

Proprio questa particolare formulazione del rapporto arte-scienza merita una prima breve riflessione. Tale rapporto è qui considerato come la migliore espressione, nel quadro delle attività umane, della dicotomia soggettività-oggettività. Questa concezione sembra leggersi, ove non sia già formulata esplicitamente, in indirizzi di pensiero anche molto recenti. Ad esempio in quell'insieme molto vario di ricerche che va sotto il nome di empirismo logico teso ad affermare come unico strumento di conoscenza le procedure logiche e sperimentali della ricerca scientifica, oppure, nel complesso pensiero di Gaston Bachelard, nelle complesse relazioni fra la "reverie", termine con cui Bachelard designa l'immaginazione onirica propria delle conoscenze fantastiche prodotte dall'arte, e la scienza, sede della conoscenza razionale. E seppure nel

suo pensiero queste due forme di conoscenza sembrano vivere di sotterranee interazioni è certo che esse non convivono entrambe sul terreno della razionalità.

Si può oggi però fondatamente ritenere, alla luce di alcune importanti acquisizioni del pensiero contemporaneo, che tale concezione dicotomica possa essere superata con delle conseguenze estremamente proficue per una considerazione globale della stessa vita umana.

Una prima indicazione per questo superamento la si ritrova, per esempio, all'interno della stessa critica della scienza: da un lato in quella tradizione epistemologica risalente ad Einstein che tende a considerare le teorie scientifiche come libere costruzioni dell'intelletto, come il frutto di un atto creativo in qualche modo simile a quello artistico; dall'altro, in tempi più recenti, in quelle correnti di pensiero che, nate come critiche a determinate "definizioni della razionalità scientifica", hanno messo forse definitivamente in luce che l'impresa scientifica è molto più soggettiva di quanto si è di solito disposti a credere.

Un altro tentativo, dall'interno di una teoria critica dell'arte, può essere quello di mostrare come una battaglia di carattere razionalistico possa essere combattuta anche all'interno del dominio del pensiero artistico. Che poi si voglia personalmente appoggiare o no una battaglia di questo genere non ha molta importanza ai fini del nostro discorso: è molto importante, però, iniziare una lotta contro quelle filosofie che fanno dell'arte il solo regno della "reverie" senza riconoscerle anche la possibilità oggettiva di derivazione da quella ragione dialettica e deduttiva che è una "proprietà profonda" del pensiero umano.

In questa direzione è pure possibile riconoscere al pensiero artistico-musicale un certo grado di oggettività. Infatti non solo emergono delle analogie strettissime fra il comportamento artistico-musicale e il comportamento scientifico, ma è facile mostrare che vi sono più legami di quanto si creda fra teorie critiche dell'arte e della composizione musicale e le metodologie scientifiche: nell'arte esiste un equivalente del "codice d'onestà scientifica"¹² - come Lakatos lo chiama - e questo codice può essere messo in luce da una teoria critica.

Ma le analogie che si riscontrano sono a volte non solo procedurali, ma - come è stato fatto notare nell'introduzione - anche concettuali: il loro esame, se condotto non in ossequio ad un banale scientismo ma sotto la luminosità di un giudizio critico e obiettivo, può rivelarsi molto utile nell'elaborazione di tali teorie critiche dell'arte e della composizione musicale. E non si deve nemmeno tacere la possibilità che un tale esame possa essere proficuo anche per la critica della scienza, gettando una nuova luce su opinioni quali quella citata del Kuhn, pur senza metterne in crisi l'intrinsico valore.

2.2. Realizzazioni della razionalità nella recente storia musicale

E' necessario a questo punto fare delle brevi considerazioni di carattere storico.

Ora, se si guarda all'incredibile sviluppo della musica contemporanea, intendendo con questo termine riferirsi a quell'insieme di avvenimenti musicali che ha il suo inizio negli anni '50, si può notare, da una certa parte, una diffusa esigenza di rigore che merita di essere presa in seria considerazione.

Tale esigenza di rigore può riassumersi nel seguente ordine di problemi: 1) il ricorso, sempre più frequente, a teorizzazioni generali di carattere scientifico sui processi della musica; 2) la conduzione del ragionamento compositivo in modo organico e sistematico; 3) la applicazione di risultati delle teorie generali nella composizione musicale. E' una conseguenza diretta di tale atteggiamento sia il ricorso a modellizzazioni matematiche dei processi musicali, per esempio il ricorso a strutture algebriche quali "gruppi" e "spazi vettoriali" (Xenakis), sia il ricorso a categorie concettuali propriamente logiche quali formalizzazione, metodo assiomatico e così via (Xenakis, Boulez). E queste problematiche sono ben vive ancora oggi, arricchite da quell'insieme di ricerche (acustiche, psicoacustiche, informatiche ecc.) che si sono rese possibili, in modi prima impensabili, grazie all'impiego dell'elaboratore.

A ben vedere, tale quadro storico mette in luce degli specialissimi problemi d'ordine filosofico: 1) l'esigenza di far riferimento a spiegazioni scientifiche e quindi "oggettive" dei processi musicali; 2) la nascita e l'affinarsi di una "coscienza del metodo" compositivo; 3) il rapporto sempre più stretto fra teorie generali e composizione musicale, che poi è una formulazione interna all'arte del rapporto fra teoria e sua applicazione.

A questa schematizzazione non può sfuggire il problema vivo e drammatico che sta sullo sfondo - forse come causa - di una tale situazione: la mancanza anche nella musica della nostra epoca, come in altre discipline umane, di linguaggi universali unificanti, possessori di un'autorevolezza qualificata.

3. LOGICA E METODOLOGIA DELLA COMPOSIZIONE MUSICALE

3.1. Il concetto di "metodologia"

Il termine metodologia si va sempre più diffondendo all'interno dell'arte e della composizione musicale in particolare. L'ingresso di questo termine (che oggi occupa un posto di primo piano nei discorsi con i quali si intende riferirsi alla scienza, nel discorso scientifico come nel discorso comune) nell'arte è in parte giustificato dalla sempre maggiore attenzione verso procedure di tipo razionale cui si è più volte accennato. Sembra comunque potersi affermare

che si sia lontani dal possedere una univoca definizione del termine considerato quando esso viene usato in riferimento all'arte; anzi spesso il suo uso è addirittura improprio.

Imre Lakatos chiarisce in modo molto preciso che cosa si intenda per "metodologia" nella contemporanea filosofia della scienza. Egli fa notare innanzitutto che le moderne metodologie "sono molto differenti da ciò che usualmente si intendeva con 'metodologia' nel diciassettesimo o anche nel diciottesimo secolo. Si sperava allora che la metodologia fornisse agli scienziati un meccanico prontuario di regole per la soluzione di problemi. Tale speranza è stata ormai abbandonata: le 'metodologie' moderne o 'logiche della scoperta' consistono semplicemente di un insieme di regole (...) per la valutazione di teorie già strutturate e articolate".¹³ Lakatos fa un'ulteriore importantissima precisazione: "Spesso queste regole o sistemi di valutazione, fungono anche da teorie della 'razionalità scientifica', 'criteri di demarcazione', o 'definizioni della scienza' ".¹⁴

Si potrebbe osservare che rispetto all'arte una funzione di questo genere è stata tradizionalmente svolta da quell'insieme di indagini che vanno sotto il nome di "estetica", o, più precisamente, "estetica filosofica" che comprendeva teorie del bello parallelamente a teoria dell'arte.

Problemi di tale generalità e complessità esulano comunque dal presente discorso, e la definizione di "metodologia" che si intende proporre costituisce rispetto ad essi una notevole riduzione del campo d'indagine e una forte modifica-zione dell'orizzonte problematico.

Una metodologia della composizione musicale dovrà chiarire in primo luogo i problemi di metodo e di impostazione che possono sorgere nella ricerca concreta, con la quale deve avviare una fattiva collaborazione.

Questa metodologia dovrà muoversi lungo due direttive principali: 1) lo studio delle procedure per la costruzione di modelli (o teorie) con validità generale dei processi musicali e fornire "sistemi di valutazione" per quei modelli (o teorie). In questa fase la "metodologia della composizione musicale" fa ricorso alle concezioni elaborate nella più avanzata ricerca filosofico-scientifica: ciò vale a dire che coinciderà con quest'ultima; 2) lo studio e la ricostruzione dei passaggi logici del ragionamento compositivo onde rendere possibile un buon controllo della razionalità. In questa direzione chiarirà e valuterà i richiami a modelli (o teorie) generali dell'atto compositivo.

Una siffatta metodologia può fungere da "definizione dell'arte (musicale)", nel modo chiarito da Lakatos a proposito della scienza, in un senso però molto parziale, cioè limitatamente all'aspetto razionale. Analogamente come "sistema di valutazione" dell'opera stessa, questa

metodologia ne valuterà quelle componenti che si propongono come "invenzioni e scoperte della ragione". Non sembra doversi escludere che una tale metodologia possa un giorno essere inclusa nella più generale teoria dell'arte, in seno all'estetica filosofica, la quale dovrà in ogni caso fornire teorie integrative per i problemi extrarazionali.

3.2. La relazione fra opera e ragionamento

Si procede ora a determinare alcune proprietà fondamentali di un'opera musicale con un certo grado di astrazione e generalità.

I° Definizione: d'ora in poi si penserà all'opera musicale (che si denoterà con " O ") come la risultante di un ragionamento (che si denoterà con " R ") i cui termini e processi siano logicamente definiti. Fra O ed R vi è un rapporto di necessità, cioè: "esiste O se e solo se esiste R ".

Si può, in prima approssimazione, caratterizzare R come un insieme di passaggi (o stati) della mente che conducono dalla non esistenza alla esistenza di un insieme di suoni (nel senso più largo) organizzati temporalmente in un costrutto coerente in base a certi principi che sia possibile esplicitare.

3.3. Logica del discorso musicale: definizione dell'opera

II° Definizione: sia O una qualsiasi opera musicale fra quelle possibili. Si può fondamentalmente parlare di O come il composto di un "linguaggio" (che denoteremo con " L ") e di una "forma specifica" del discorso (che denoteremo con " F ").

L consiste: 1) in un insieme numerabile (finito) di simboli costituito esclusivamente da suoni, compreso il suono nullo, cioè il silenzio (in questo contesto non è presa in considerazione, per ragioni di semplicità, l'inclusione nell'insieme dei simboli, di fenomeni quali la gestualità, l'ambiente, ecc.); ogni sequenza finita di suoni, ordinata nel tempo, è un'"espressione" di L ; 2) in un sottoinsieme dell'insieme delle espressioni detto insieme delle "espressioni giuste" in L ; esisterà un apparato, o sistema di regole (grammatica) mediante il quale specificare l'insieme delle "espressioni giuste" in L .

F consiste: in una sequenza finita, ordinata nel tempo, di ben determinate "espressioni giuste" di L .

Queste definizioni formano già una prima caratterizzazione logica della sintassi del discorso musicale. La forma di queste definizioni è abbastanza analoga a quella mediante la quale, in logica, si specificano le caratteristiche fondamentali dei "calcoli" o "teorie formalizzate". Più in generale queste definizioni mettono in luce le connessioni fra la struttura formale del discorso musicale e la struttura formale di altri discorsi, sia del discorso scientifico

che del discorso comune.

Va sottolineata, a questo proposito, l'importanza che può rivestire lo studio dei sistemi formali (teorie assiomatiche e teorie formalizzate) per una maggiore comprensione della struttura formale dei nostri discorsi, non ultimo quello artistico e musicale).

Concludendo: in base a quanto detto nelle definizioni, determinare O significa determinare L ed F ; tale concetto può esprimersi nella relazione:

$$O = \langle L, F \rangle$$

3.4. Una maggiore specificazione di L ed F Il linguaggio artificiale e il concetto generale di forma

Ai fini della caratterizzazione formale del discorso musicale, è irrilevante che L sia un linguaggio naturale, ossia un linguaggio storicamente dato su cui poggia l'intero patrimonio di opere espresse in una determinata civiltà musicale.

Si potrebbe, a partire da ciò, sottolineare la nozione di "linguaggio artificiale", ossia un linguaggio specificato ad hoc, in relazione ad una singola opera o ad una collezione molto ristretta di opere. Un tale linguaggio esaurirebbe la propria funzione in un numero molto basso di applicazioni.

Questa nozione, in sé molto semplice, se adottata come schema di spiegazione di una situazione storica reale, solleva molti e complessi problemi che non è ovviamente qui possibile considerare. Basti comunque osservare che la suddetta nozione potrebbe risultare di grande utilità in presenza di situazioni storiche in cui il patrimonio linguistico musicale comune si riduce ad un ristretto nucleo potenziale a partire dal quale tutto deve essere precisato.

Vi sono molte ragioni per ritenere ammissibile l'uso della nozione di "linguaggio costruito ad hoc" per giustificare, nel gioco della composizione musicale contemporanea, la complessa elaborazione con cui si tende a rendere esplicativi i principi costruttivi. La mancanza di un linguaggio univocamente codificato è, d'altronde, un fenomeno che molti musicisti e studiosi hanno spesso fatto notare. Sembra quindi che ogni compositore debba specificare le proprie scelte in un arco molto vasto di potenzialità: vale a dire che la costruzione dell'opera passa attraverso una rigorosa definizione del suo linguaggio L , piano in cui possono già situarsi i primi motivi di validità dell'opera stessa.

A partire da ciò la stessa storia musicale classica potrebbe leggersi attraverso le interazioni dialettiche fra L ed F : quindi come storia di trasmissioni di scoperte da un dominio all'altro e di feconde retroazioni.

E' necessario a questo punto caratterizzare

meglio il concetto di "forma specifica".

La forma specifica come la si intende è un attributo dell'opera, è quella proprietà peculiare che la rende diversa da tutte le altre opere possibili in un determinato linguaggio; costruire un'opera musicale equivale in pratica a definirne la forma specifica, ossia a definire un sistema organico e sistematico di relazioni su oggetti linguistici reali (alcune ben determinate espressioni giuste in L), la cui natura cioè (in questo caso sonora) sia univocamente definita.

Il concetto generale di "forma" di un'opera musicale che sottintende l'uso che si fa del concetto di forma specifica può essere espresso nei termini di quella unità più ampia e generale costituita da una sequenza inscritta nel tempo di sotto-unità avente la forma $\langle U_1, U_2, \dots, U_n \rangle$ in cui ogni U è a sua volta una sequenza di sotto-sottounità della forma $\langle u_1, u_2, \dots, u_m \rangle$ e così via, sino a quella sotto-sotto, ..., sotto-unità non ulteriormente segmentabile.

Se una analogia col linguaggio verbale può aiutare nell'acquisire una maggiore chiarezza, si può dire che l'accezione che si dà al termine "forma" è simile a quella che al termine "testo" si dà nelle più recenti ricerche linguistiche in cui il testo è considerato come quel discorso coerente che travalica i limiti dell'enunciato, cioè quell'unità più ampia dell'enunciazione, per la quale valgono convenzioni sintattiche, semantiche, pragmatiche da ricostruire razionalmente in una teoria semiotica integrata.¹⁵

La definizione del sistema di relazioni, che ordina temporalmente un ben determinato sottoinsieme delle espressioni giuste di L è data in R , e costituisce propriamente la composizione di F .

3.5. Formazione di una teoria dell'opera. Il ragionamento compositivo come formulazione di un sistema di proposizioni: la teoria singolare o specifica

III° Definizione: come si è visto determinare conoscitivamente O equivale a determinare L ed F . A questo fine si deve disporre di un linguaggio in cui formulare le proprietà di O , in cui cioè fornire una specificazione della sintassi di L e della sintassi specifica di F . Esisterà allora una teoria dell'opera (che si denoterà con " T_O "), composta da due sotto-teorie, denotabili come T_L e T_F , di cui L ed F siano i rispettivi universi. T_L e T_F costituiranno le teorie sintattiche del linguaggio e della forma "specifica" dell'opera. Così:

$$T_O = \langle T_L, T_F \rangle$$

Si può esprimere la relazione fra l'opera e le sue teorie nel seguente modo:

$$O = \langle L, F \rangle \Rightarrow T_O = \langle T_L, T_F \rangle$$

{non è superfluo a questo punto ricordare la nozione di "teoria": si può definire in linea di massima una teoria come una successione organica di proposizioni intorno ad un certo oggetto. Una teoria si comporrà di un "linguaggio" e di un "universo del discorso").

La relazione fra opera e sue teorie può avere una duplice interpretazione. Si possono leggere in questo modo sia il momento analitico scientifico che quello propriamente compositivo.

Nel primo caso si formulano teorie con validità generale: in questo caso L ed F sono considerati in astratto. Nel secondo caso si definiscono nella fase compositiva L ed F mediante la formulazione delle rispettive teorie specifiche: la tendenza ad esplicitare nel gioco della composizione musicale contemporanea i principi costruttivi delle opere può essere ricondotta a questa nozione.

In linea di massima si può caratterizzare la struttura di T_L e T_F in due modi principali: a) vengono formulate una serie di proposizioni che specificano alcuni modelli ben determinati di combinazioni temporali di eventi sonori descrivendo concretamente i casi possibili; b) vengono formulate un certo numero di proposizioni di base: ognuna delle quali è una regola di L o F e da queste proposizioni vengono derivati una serie di altre proposizioni con l'applicazione di regole di trasformazione (o di inferenza). Ogni proposizione di base, come ogni proposizione derivata, è una regola che definisce ben determinati modelli di combinazioni temporali di suoni per quel che riguarda L e una collezione di specifiche espressioni giuste di L per quel che riguarda F .

3.6. Connessioni fra teorie generali e teorie specifiche

Attraverso i concetti appena introdotti può essere affrontato il problema dell'applicazione in sede compositiva di prospettive teoriche generali.

IV° Definizione: sia T_0' una ben determinata teoria generale e T_0'' una ben determinata teoria specifica. E' allora possibile l'introduzione in T_0' di proposizioni di T_0'' , a costituire degli enunciati di controllo della formazione di T_0'' .

In determinati casi le proposizioni di T_0' possono ricalcare la forma logica delle proposizioni di T_0'' , e queste possono fungere da regole del ragionamento compositivo che è intollerabile violare.

CONCLUSIONI

Un approfondimento ulteriore di questi problemi non è purtroppo possibile. Non era d'altronde questo l'obiettivo che ci si era prefissi; l'intenzione era piuttosto di evidenziare la necessità o quantomeno l'importanza di avviare una seria riflessione intorno a questi problemi, nella con-

vinzione che una maggiore chiarezza intorno ad essi possa aiutarci a dare una giusta collocazione della ricerca musicale nella cultura contemporanea.

4. Riferimenti bibliografici

- (1) A. EINSTEIN, Pensieri degli anni difficili, Torino 1965, p. 34.
- (2) L. GEYMONAT, Filosofia e filosofia della scienza, Milano 1960, p. 79.
- (3) cfr. J. DIEUDONNE', Logica e matematica nel 1980, in P. ROSSI (a cura di), La nuova ragione, Bologna 1981, pp. 23-24.
- (4) Cfr. L. GEYMONAT, op. cit., p. 84.
- (5) Cfr. J. XENAKIS, Musique formelles, La revue musicale, double numero special n° 253 et 254, (Editions Richard-Masse, Paris), p. 189.
- (6) G. BOCCHE e M. CERUTI, Disordine e costruzione (Milano 1981), p. 37.
- (7) P. ROSSI, Scienze della natura e scienze dell'uomo: alcune vie di comunicazione, in P. ROSSI (a cura di), op. cit., p. 137.
- (8) Cfr. I. STENGERS, La nuova alleanza, in P. ROSSI (a cura di), op. cit., pp. 101-108.
- (9) G. XENAKIS, Migrazioni nella composizione musicale, in A. VIDOLIN (a cura di), Musica e elaboratore, (Edizioni "La Biennale di Venezia" 1980), p. 115.
- (10) Ib., p. 115.
- (11) Cfr. THOMAS S. KUHN, Note su Lakatos, in I. LAKATOS & A. MUSGRAVE (a cura di) Criticism and the Growth of Knowledge (trad. it. di G. GIORELLO), (Milano 1976), pp. 415-416.
- (12) I. LAKATOS, La storia della scienza e le sue ricostruzioni razionali, in I. LAKATOS & A. MUSGRAVE (a cura di), op. cit., p. 367.
- (13) Ib., pag. 367.
- (14) Ib., p. 367.
- (15) Cfr. J. S. PETÖFI, Osservazioni sul componente grammaticale di una teoria semiotica dei testi, in M.E. COMTE (a cura di), La linguistica testuale, Milano 1977, pp. 224-225.

LITOGRAFIA ERREBI - FALCONARA