

**TEATRO COMUNALE DI FIRENZE**

**Computer Music**

**41° MAGGIO MUSICALE FIORENTINO**

CITTÀ DI FIRENZE  
ENTE AUTONOMO DEL TEATRO COMUNALE

---

In collaborazione con il  
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE  
(CNUCE, Centro di Calcolo Elettronico,  
e IEI, Istituto di Elaborazione dell'Informazione,  
Pisa) e con l'assistenza tecnica della RAI

**RIDOTTO DEL TEATRO COMUNALE**

Giovedì 29 e venerdì 30 giugno 1978

**COMPUTER MUSIC**

Audizione permanente (ore 10,30 - 13 e 16 - 19)  
Incontri e tavola rotonda

\*

Giovedì 29 giugno, ore 11

Incontro con

**Luciano Berio, Pietro Grossi, Guido Torrigiani**

\*

Venerdì 30 giugno, ore 17

Tavola rotonda sul tema

« Contributo dell'informatica nella realtà  
musicale »

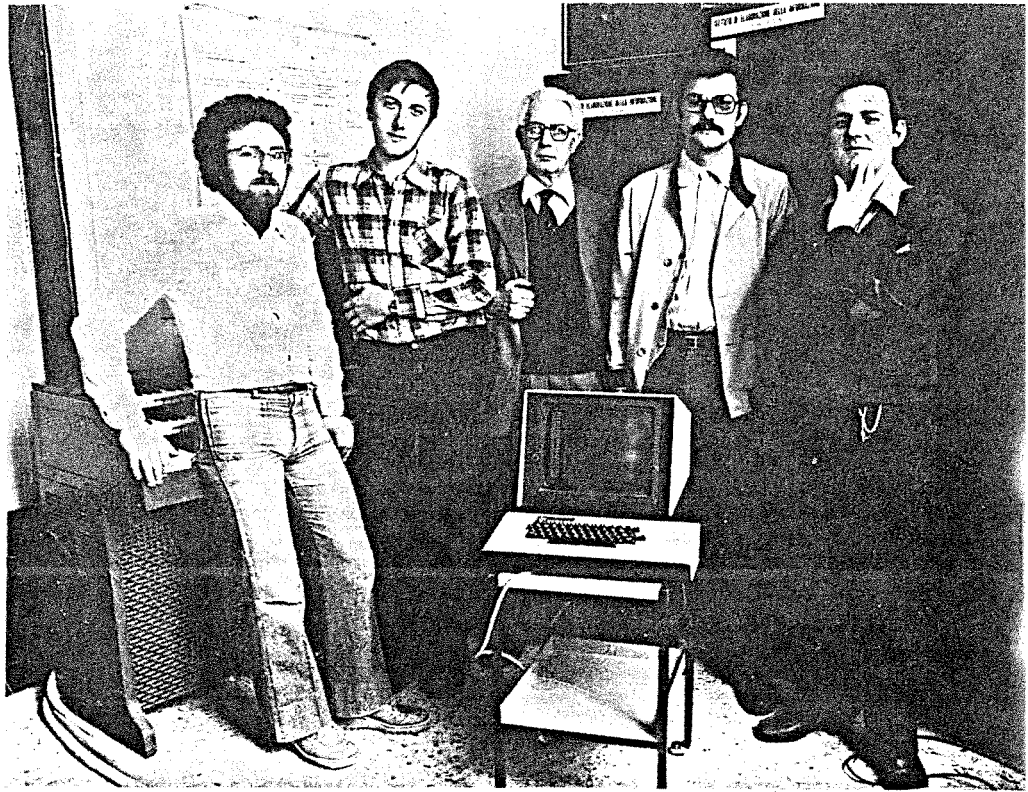
partecipano:

**Walter Branchi, Giuseppe Di Giugno, Andy  
Moorer, Teresa Rampazzi, Alan Sutcliffe,  
Alvise Vidolin**

Moderatore

**Giuliano Toraldo di Francia**

Testi a cura di Graziano Bertini, Tommaso Bolognesi, Massimo Chimenti,  
Pietro Grossi, Leonello Tarabella.



Alcuni componenti del gruppo di ricerche musicologiche:  
Leonello Tarabella, Tommaso Bolognesi, Pietro Grossi, Graziano Bertini, Massimo Chimenti

Today the musician has a new instrument at his disposal — the computer. This instrument, which has caused an authentic revolution in every field of human activity, has provided man with an immeasurable increase in his operative power while its connection with the most advanced and significant conquests in the development of current civilization is such that today its use is universal.

In the field of music the computer allows one to resolve the problems of integrated automation in every branch, from musicology to composition and actual playing. With the introduction of this instrument the dynamics of the techniques, and their repercussions in aesthetical concepts and in didactical and artistic choice, become infinitely more rapid than those laid down by the development of former electronic instruments. Such rapidity of change with regard to the instrument induces one to conclude that today experiment and demonstration have their maximum validity and justification only at the time they are being carried out, therefore the programming of musical activities, even if limited in time, must necessarily consider the rhythm of technological evolution.

Musical studies and experiments with the computer began in the fifties, their intensity increasing in direct proportion to the diffusion and evolution of this instrument. At present one can say that the intensity of the studies, which has spread to every sector of musical activity, is more than promising, and even premonitory of significant acquisitions in the future, due to the technological evolution of mini and micro computers.

Important research centers operate in the United States of America, Canada, England, France, Holland and Sweden. Italy, which can be placed side by side with the countries most advanced in this field, has centers in Padua, Milan, Naples, Bologna, Pesaro and Pisa, the latter dependent on the Italian National Research Council (CNR). And even music schools have now begun to play a significant part in this sector.

### **Music activity at CNUCE**

All the research in which the Music Department at CNUCE has been involved up to the present is characterised by certain basic principles concerning the method of using the computer. These principles, adopted right from the beginning of our research, have constituted and still

Il musicista ha oggi un nuovo strumento, il computer. Esso, che ha portato un'autentica rivoluzione in ogni campo dell'attività umana fornendo all'uomo uno smisurato aumento della sua potenza operativa, si lega alle conquiste più avanzate e significative dello sviluppo della civiltà attuale, cosicché oggi il suo impiego è universale.

Nell'ambito della musica il computer permette di risolvere i problemi dell'automazione integrale in ogni branca, dalla musicologia alla composizione e all'esecuzione. Pertanto la dinamica delle tecniche e i suoi riflessi nelle concezioni estetiche e nelle scelte didattiche e artistiche passa ad un regime infinitamente più rapido di quello imposto dallo sviluppo della precedente strumentazione elettronica.

Tale rapidità di mutamenti in sede strumentale induce a pensare che oggi l'esperienza e la dimostrazione hanno la loro massima validità e giustificazione storica nel solo momento in cui sono attuate, perciò la programmazione dell'attività musicale, anche se limitata nel tempo, non può non tener conto del ritmo dell'evoluzione tecnologica.

Studi ed esperienze relativi all'impiego del computer per fini musicali sono cominciati verso gli anni cinquanta. Da allora l'intensità di essi è andata aumentando in diretta proporzione con la diffusione e l'evoluzione di questo strumento. Attualmente la mole e l'approfondimento degli studi, che si sono irradiati in ogni settore dell'attività musicale, sono più che promettenti e anche premonitori di future significative acquisizioni grazie all'evoluzione tecnologica dei mini e micro computer.

Importanti centri di ricerca operano negli Stati Uniti, nel Canada, in Inghilterra, in Francia, in Olanda e in Svezia. L'Italia si affianca alle nazioni più progredite in materia con gruppi e centri di lavoro a Padova, Milano, Napoli, Bologna, Pesaro e Pisa, quest'ultimo dipendente dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Anche da parte dei Conservatori di Musica ha cominciato a manifestarsi un significativo impegno in questo settore.

### **Vita Musicale al CNUCE**

L'insieme delle ricerche svolte finora dalla sezione musicologica del CNUCE si caratterizza per alcuni principi di base concernenti le modalità d'uso degli elaboratori, che, assunti sin dall'inizio degli studi, hanno costituito e costituiscono tuttora i punti di riferimento per lo sviluppo

constitute the basis of development and direction of our present work, in its rapid and complex evolution. They can be summarized by the following definitions:

- work in real time
- interactivity
- complete automation of the processes.

The choice of this particular work orientation, which derived from an analysis of the operating prerogatives of the computer, made us ready to welcome all suggestions offered to us even if, in doing so, we were forced to encourage operations which were in contrast, or at least not in accord, with the habits or rules of current musical thought. For this reason, we decided to solve problems concerning the reading, the auto-generation, the manipulation of musical texts and their execution in real time, the task being, on the one hand, that of seeking to improve man/machine interaction and, on the other, the application of the most suitable mathematical and logical instruments for the complete automation of the processes even at the decision-making level.

This basic choice permitted us to formulate fascinating work-hypotheses on the use, for musical purposes, of an instrument destined to carry out a fundamental role in the development of our society.

However, this same choice constrained us to make some renunciations which, although considerable, we judged to be both of a temporary nature and of less importance with respect to the advantages which our chosen path offered us. This evaluation was confirmed in the course of our studies which, owing to the rapid advances made during this all-important period in electronic technology, were carried out in fields which are either new or ever-enlarging.

Musical research in Pisa began in 1969 when CNUCE accepted an offer of collaboration from Pietro Grossi. CNUCE and the IBM Scientific Center of Pisa decided on a joint collaboration, making available the experts, equipment and computer time necessary.

The research was concerned with the real-time use of a digital system, in this case the IBM 7090 available at the time, for the reading, decoding and playing of classical and monodic musical texts as well as their storing and modification. The program implemented for this purpose was called DCMP (Digital Computer Music Program).

Later, the DCMP was enhanced by introducing subroutines for automatic computation and the immediate performance of sound structures which could be altered, if desired, by the user. New procedures for the trans-

delle esperienze in atto, nella loro rapida e complessa ramificazione. Tali principi possono essere riassunti nelle seguenti definizioni:

- lavoro in tempo reale
- interattività
- automazione integrale dei processi.

La scelta di questo orientamento di lavoro è scaturita da un'analisi delle prerogative degli elaboratori, che ha portato ad accogliere con la massima disponibilità i loro « suggerimenti » anche quando essi avrebbero indotto a promuovere operazioni in contrasto o almeno non in sintonia con le consuetudini o le leggi della vita musicale corrente. Da ciò la decisione di affrontare problemi connessi con la lettura, l'autogenerazione, la rielaborazione di testi musicali e la loro esecuzione in tempo reale, l'impegno di studiare le modalità di una sofisticata interazione e, per contro, l'applicazione degli strumenti logico-matematici più idonei per l'automazione integrale dei processi, anche di quelli a livello decisionale.

Le sopraccennate scelte di base hanno consentito di formulare ipotesi di lavoro affascinanti per l'impiego ai fini musicali di uno strumento che, per le sue caratteristiche operative, è destinato a svolgere un ruolo fondamentale nel divenire della società.

Tali scelte comportavano necessariamente anche delle rinunce, e di non lieve entità; tuttavia queste ultime sono state valutate di minor conto rispetto alle prospettive intraviste sul cammino prescelto, e certamente di carattere temporaneo. Questa valutazione ha trovato poi conferma nel corso degli studi che, grazie appunto ai rapidissimi progressi fatti in questo periodo dalla tecnologia elettronica, hanno potuto svolgersi e si svolgono tuttora in aree via via più ampie e di nuova acquisizione.

Le ricerche musicali hanno avuto inizio nel 1969 in seguito alla decisione della Giunta del CNUCE di accogliere la richiesta di collaborazione inoltrata da Pietro Grossi.

Il CNUCE e il Centro Scientifico IBM di Pisa decisero di collaborare congiuntamente mettendo a disposizione esperti, strumentazione e il tempo macchina necessario. La ricerca si orientò sull'impiego in tempo reale di un sistema digitale, nel caso specifico il 7090 IBM, allora disponibile, allo scopo di ottenere la lettura, la decodifica e l'esecuzione di testi musicali monodici, nonché la loro conservazione e rielaborazione. Il programma realizzato a tale scopo venne denominato DCMP (abbreviazione di Digital Computer Music Program).

In seguito il DCMP venne ampliato con l'introduzione di subroutines



formation of the pieces were also included.

In the same period a FORTRAN course was given at the Florence Conservatoire in collaboration with CNUCE which provided the instructors. This was the first computing course ever held in an Italian music school. The DCMP was presented to the public for the first time at the 1970 Contemporary Music Festival in Venice, where the 360 Mod. 44 from the IBM Scientific Center of Venice was used for demonstrations. Afterwards, the Music Department took part in the meeting held in Rimini on the « Forme dell'Ambiente Umano » (Forms of Human Environment) where for the first time direct connection with the center in Pisa was achieved, using a remote terminal and suitable telephone lines.

With these demonstrations, a series of meetings and teaching sessions were begun in various parts of Italy, relying on direct connection with the computers at the center in Pisa. The aim was to emphasize, for the first time in the brief existence of computer music, the possibility of working at a long distance in real time. Also in 1970, Prof. Franco Denoth, Director of Research at the Information Processing Institute (Istituto di Elaborazione delle Informazioni (IEI)), Pisa, following the line of research in progress, and in view of the increased number of time-sharing systems, thought of creating a special terminal in order to:

- a) improve the use of the computer in this field
- b) enrich its range in the sphere of audible vibrations
- c) carry out the operations (i.e. from the reading of texts to their performance in real-time) with the computer working in time-sharing.

Before setting up equipment to satisfy the above-mentioned requirements and in order to test various practical aspects of the problems to be faced, Prof. Denoth built a preliminary version, called TAU1, able to perform two-voice pieces with wide variation sound parameters.

The final version, TAU2, whose operational characteristics allow the playing of polyphonic pieces of up to 12 voices, is the most highly developed means of producing sound available at the present time at Pisa. The program TAUMUS was then set up for the management of this audio-terminal.

The programs DCMP and TAUMUS both have a music library which can contain information concerning roughly 3 million sounds. Information regarding sound parameters and names of the pieces are stored in digital form. Operations for the management of the library, i.e. updating, research, selection and playing of the pieces, are carried out by means of a series of commands.

The most recent studies carried out have been connected with psycho-acoustics and the automatic management of library card index systems.

predisposte per l'elaborazione automatica e l'esecuzione immediata di strutture sonore sulle quali si potesse agire con interventi facoltativi dell'operatore, e con l'immissione di nuove procedure per la rielaborazione dei brani.

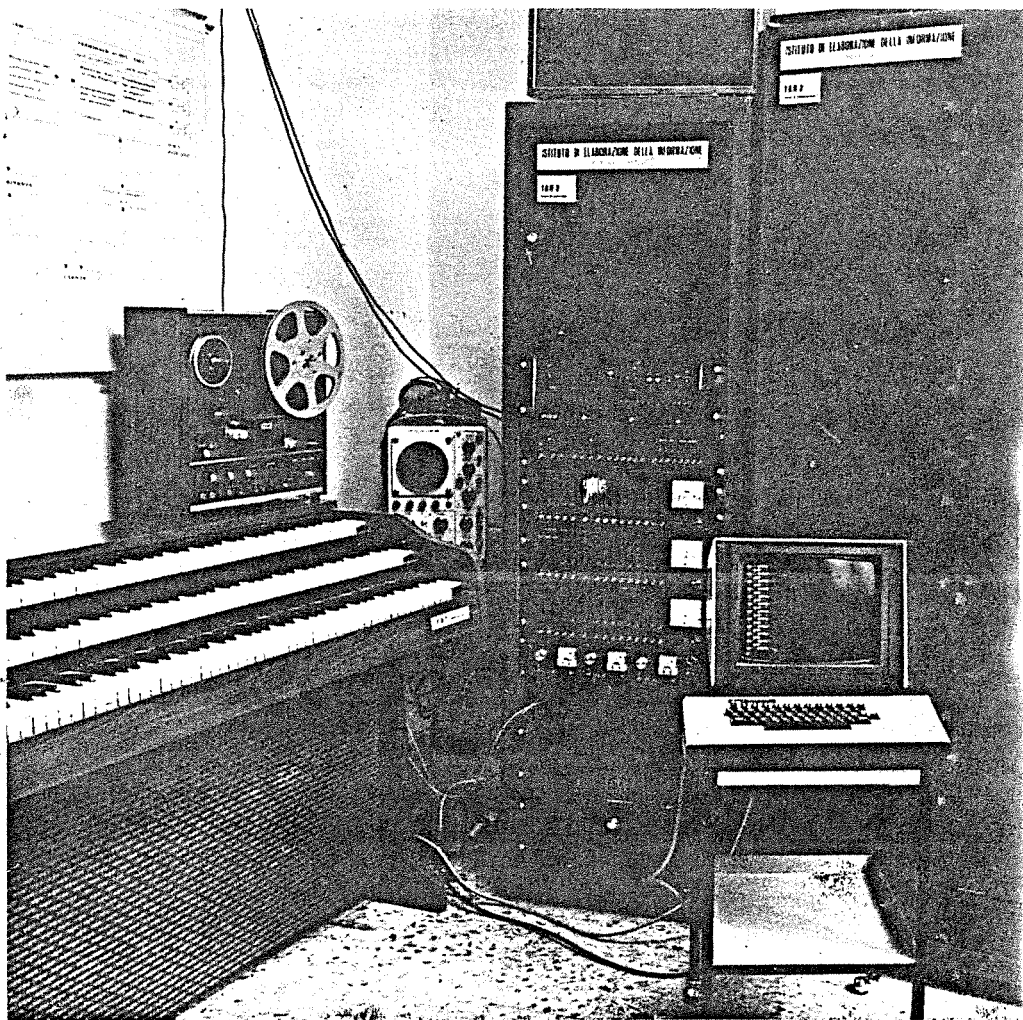
Nello stesso periodo si tenne un corso di FORTRAN al Conservatorio di Musica di Firenze in collaborazione con il CNUCE, che mise a disposizione un istruttore. Si trattava del primo corso di informatica tenuto in un istituto di istruzione musicale in Italia. Sempre nel 1970 il DCMF venne presentato pubblicamente per la prima volta al Festival di Musica Contemporanea di Venezia. In quella occasione si utilizzò per le dimostrazioni il sistema 360 mod. 44 del Centro Scientifico IBM di Venezia. Successivamente la sezione musicologica partecipò al Convegno su « Forme dell'ambiente umano » a Rimini, ove fu per la prima volta effettuato un collegamento diretto con il Centro di Pisa tramite un terminale remoto e apposite linee telefoniche.

Con queste dimostrazioni si iniziò la serie di incontri e sessioni didattiche, gli uni e le altre organizzati in diverse città d'Italia ed effettuati per mezzo di un collegamento diretto con gli elaboratori elettronici del Centro di Pisa, al fine di mettere in rilievo per la prima volta, nella ancora giovane vita dell'informatica musicale, la possibilità di operare a distanza e in tempo reale.

Sempre nel 1970 il Prof. Franco Denoth, direttore di ricerca dell'Istituto per la Elaborazione delle Informazioni (IEI) di Pisa pensò di progettare e realizzare uno speciale terminale al fine di razionalizzare l'impiego dell'elaboratore, di allargare il campo di azione nella sfera delle vibrazioni udibili e, in vista dell'espansione dei sistemi operanti in time-sharing, di svolgere tutte le operazioni, dalla lettura dei testi alla loro esecuzione, in tempo reale e con elaboratori elettronici operanti in time-sharing. Prima di dare inizio ai lavori per la realizzazione di un apparato che doveva rispondere a tutti i requisiti sopra accennati e per verificare in pratica alcuni aspetti dei problemi da affrontare, il Denoth fece costruire un modello intermedio denominato TAU1 (Terminale Audio 1), capace di eseguire brani a due voci i cui parametri sonori erano controllabili entro gamme di valori notevolmente vaste. Venne infine progettato il terminale-audio TAU2, tuttora in uso quale mezzo di produzione sonora più ampia disponibile a Pisa, le cui caratteristiche funzionali permettono l'esecuzione di brani polifonici fino a 12 voci. Per la gestione del TAU2 è stato realizzato il programma TAUMUS. (Sul TAU2 e TAUMUS si veda più avanti).

I programmi DCMF e TAUMUS dispongono ciascuno di un archivio di musica che può contenere le informazioni relative a 3 milioni di suoni

**Terminale audio TAU 2**



circa. In questi archivi le informazioni inerenti i parametri acustici e i titoli dei brani vengono memorizzati in forma digitale. Una serie di comandi consente di gestire gli archivi per le operazioni di aggiornamento, ricerca, selezione ed esecuzione dei brani.

Negli ultimi tempi sono state compiute esperienze concernenti la psicoacustica e la gestione automatica di schedari di biblioteche con particolare riferimento a quelle dei Conservatori di Musica.

Oltre al Grossi, iniziatore delle ricerche, il gruppo comprende Tommaso Bolognesi, Silvio Farese, Mario Milani, Leonello Tarabella.

### **Automazione Integrale**

Corollario naturale e soluzione finale dell'introduzione del computer nell'attività musicale sembra essere l'automazione integrale dei processi sia a livello esecutivo che decisionale.

Il limite massimo di trasferimento del lavoro dall'uomo alla macchina viene così raggiunto ed è portata alle estreme conseguenze l'assunzione

particularly those of music schools.

Besides Pietro Grossi, who first began the research, the group includes Tommaso Bolognesi, Silvio Farese, Mario Milani, Leonello Tarabella.

## **Integrated Automation**

A natural consequence and final solution of the introduction of the computer in musical activities seems that of the integrated automation of processes, both at the decision-making and execution levels. Work assigned to the machine therefore reaches its highest point.

In this way, the route parallel to the more traditional course of machine-produced music which was opened up by Edison's invention of the gramophone, is completely covered; and the future will see its consolidation and development on lines which will be found by man in his effort to further technological evolution. For this reason the undoubtedly fascinating but also question-filled hypotheses of the computer's maximum extension in the field of music, has become one of the most important objects of analysis in the work at Pisa.

With regard to the present demonstration the program TAUMUS, which manages the audio-terminal TAU2 and which can operate either manually or automatically, will be used automatically for most of the time. The program will alternate procedures for the improvisation of sound structures with those for the management of its library.

What these procedures have in common is their method of choosing the required parameters and consequently also the processes provided by the network which is full of nodes from which numerous paths arise; the parameters are determined by the generation of pseudo-random numbers, integrated and corrected by devices for orientation.

The procedures differ in that in the first case the structures to be modified are created only at the time they are required, while in the second the variations and modifications are made on pieces already stored in the library.

The processing will take place without any previously established limits of duration.

di macchine sé-operanti cioè dotate di autonomia operativa.

La via parallela al cammino secolare e tradizionale della musica, aperta dal grammofono di Edison, è così interamente percorsa; il futuro ne vedrà il consolidamento e lo sviluppo su linee che via via verranno trovate dall'uomo nel suo impegno di artefice del divenire tecnologico e di ideatore del dinamico sviluppo delle sue applicazioni. Ed è per questo che l'ipotesi, indubbiamente affascinante ma anche carica di interrogativi, della massima estensione del campo d'azione del computer in musica è divenuta uno dei preminenti oggetti di verifica del lavoro pisano.

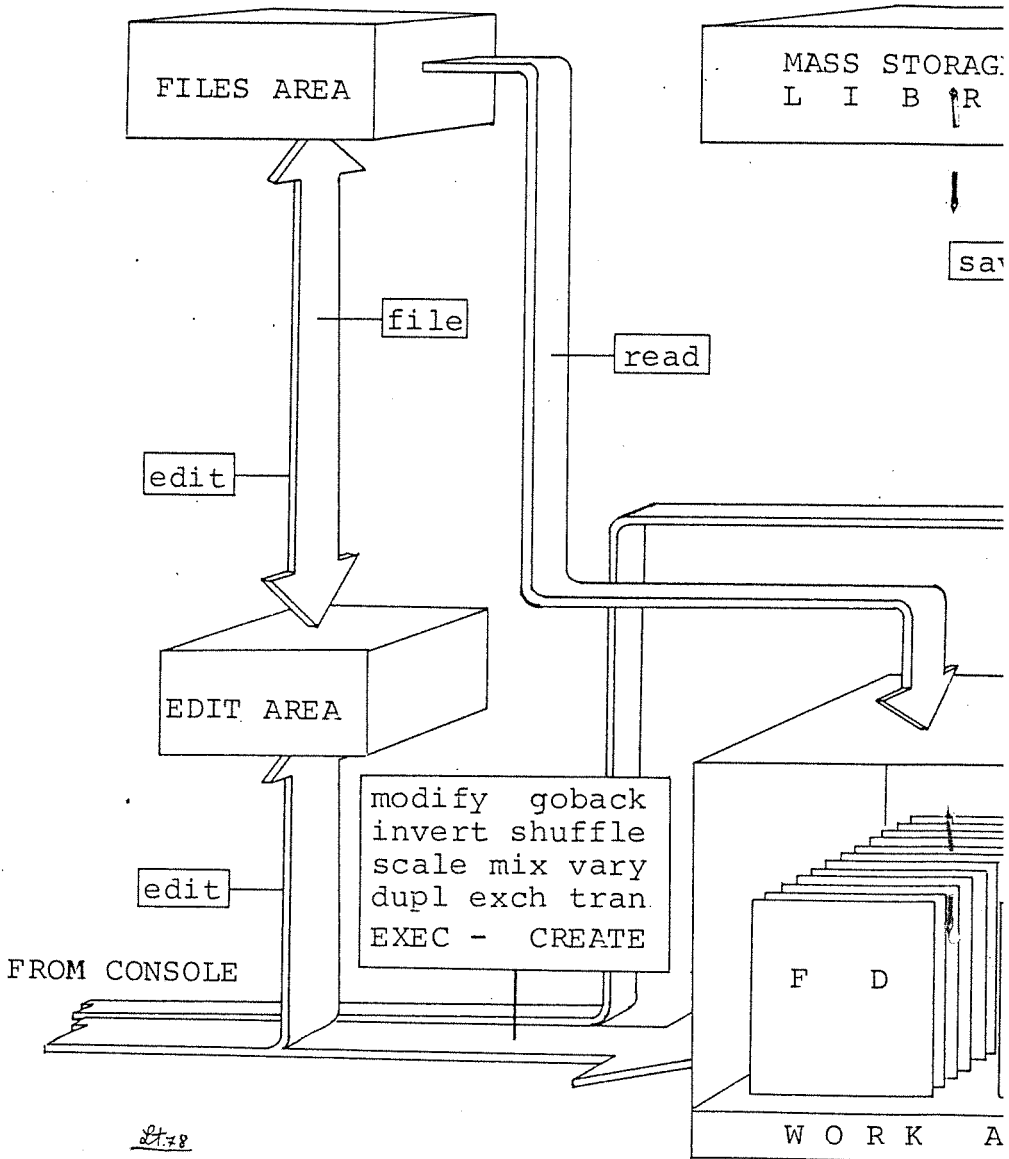
Il TAUMUS, il programma impiegato per l'audizione permanente, dispone di dispositivi atti a prendere decisioni su delega dell'operatore e a quel livello che dallo stesso di volta in volta venga stabilito. Tali dispositivi permettono di ottenere in tempo reale creazioni estemporanee, la gestione dell'archivio nelle funzioni di scelta, rielaborazione ed esecuzione di brani, l'elaborazione continua e a tempo illimitato e, naturalmente il calcolo di tutti i parametri necessari per le operazioni indicate. Gli itinerari logico-matematici, costituenti il lavoro di base del programma e permessi dalla fitta trama operativa ricca di nodi da cui partono numerose vie, vengono determinati dai valori di numeri pseudocasuali, integrati e talvolta corretti da dispositivi di orientamento insiti nel programma.

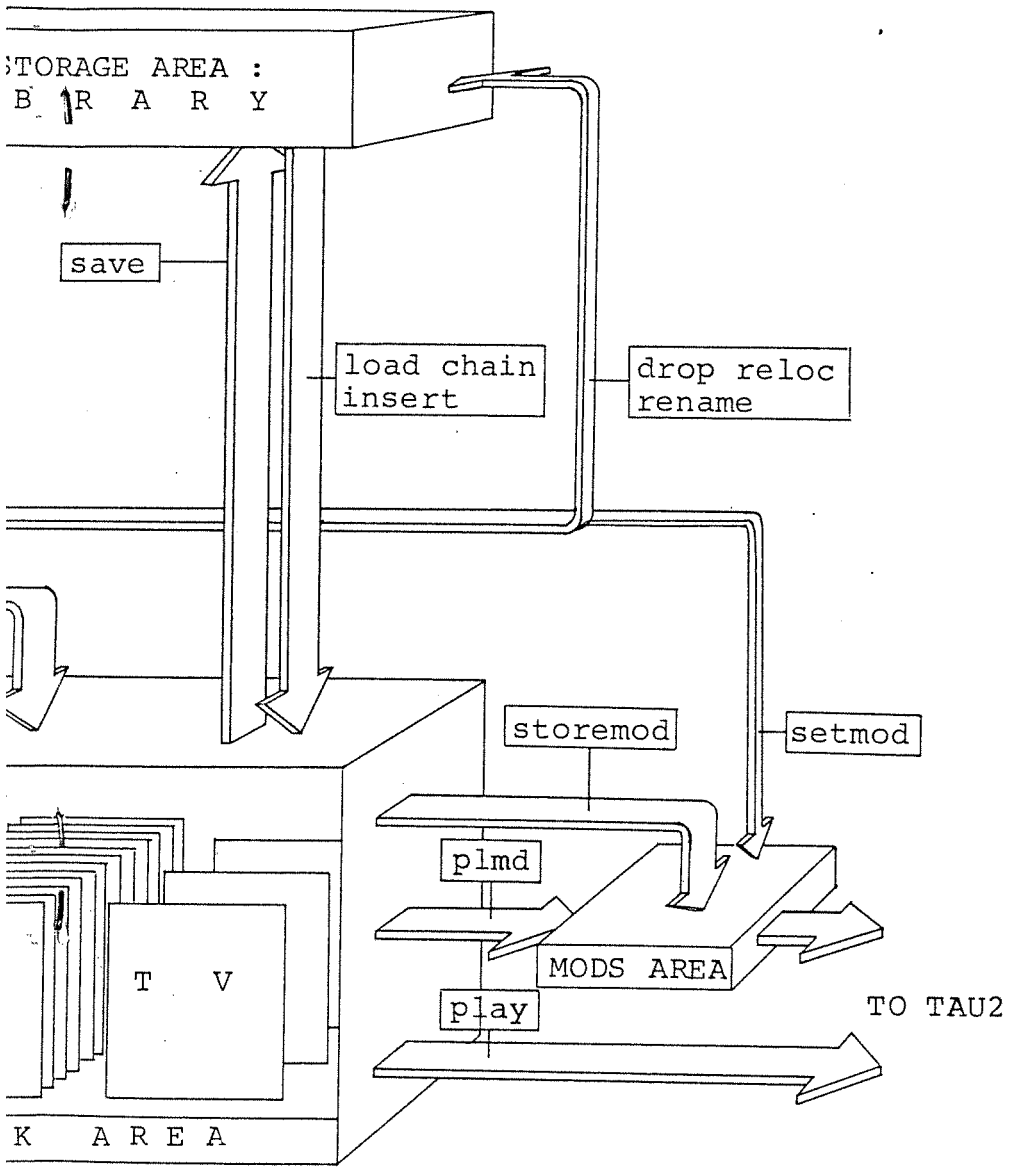
Nella dimostrazione in programma saranno richieste in successione alterna la creazione automatica di strutture sonore e la gestione d'archivio consistente nella libera scelta di brani da eseguirsi o meno con variazioni. L'elaborazione avrà luogo senza predeterminati vincoli di durata.

### **Produzione dei suoni per mezzo del calcolatore**

L'esecuzione automatica dei suoni consiste nel convertire i dati digitali, che rappresentano secondo un codice opportuno i testi musicali, in segnali elettrici idonei al pilotaggio di trasduttori elettroacustici.

Dalle esperienze sinora sviluppate sia a Pisa che negli altri centri di ricerca si ricava che, mentre è relativamente agevole manipolare con un elaboratore i « codici musicali » è invece piuttosto difficoltoso tradurre automaticamente tali codici nei corrispondenti suoni in modo esatto ed efficiente. È noto infatti che non esiste un metodo preciso e definitivo per l'analisi e la sintesi dei suoni, bensì esistono delle procedure basate





Facilities of TAUMUS



### Sound production with the aid of the computer

In order to perform musical pieces automatically it is necessary to convert the digital data processed by the computer into electrical signals suitable for driving electro-acoustic transducers.

Some experiments carried out at Pisa and other research centers have shown that even if it is easy to write « music codes » suitable for use with the computer, it is more difficult to translate them automatically into sounds. For sound synthesis several methods, based on various mathematical models, may be employed, each having its advantages and disadvantages, with the choice depending each time on the purpose one has in mind. Moreover, sound synthesis techniques, unlike those of data processing, depend very much on improvements derived from technological progress.

There are two general methods for the synthesis of electro-acoustical signals with the aid of the computer:

#### a) Digital method

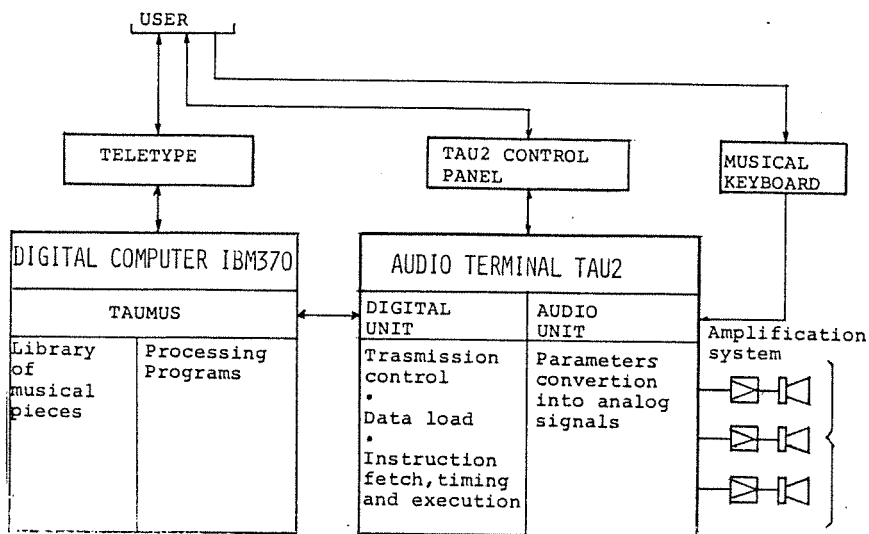
Data processing and signal synthesis are both performed by the digital computer which calculates the sampling values of the signal to be synthesized and transfers them to a digital-to-analog convertor. This method is flexible but expensive, owing to the long CPU time required. Moreover, for real-time sound synthesis, dedicated systems are necessary, even for sounds of short duration.

#### b) Hybrid method

The computer can be used for data processing only: once the sound parameters are properly coded they are sent to a special device which carries out the audio signal synthesis. This method, however, is generally less flexible in determining the wave form than the above-mentioned method, but on the other hand computing time is greatly reduced and it is also possible for users to have the results of processing in real-time.

The Computer Music System developed in Pisa at IEI and CNUCE is based on the second method mentioned above. The TAU2-TAUMUS system is shown in Fig. 1, and indicates:

— a teletypewriter by which the user communicates with the computer



su diversi modelli generali di rappresentazione matematica dei suoni, caratterizzate da errori ed approssimazioni, vantaggi e svantaggi, e la scelta delle quali dipende dagli scopi che di volta in volta sono richiesti. Inoltre l'ottimizzazione della sintesi dei suoni, a differenza delle operazioni di elaborazione dati, è intimamente legata all'evoluzione delle prestazioni dei vari dispositivi che la tecnologia mette via via a disposizione sul mercato.

Si possono indicare due metodi generali per fare la sintesi dei suoni con l'aiuto del calcolatore digitale:

#### a) metodo digitale

il calcolatore è usato sia per elaborare i dati musicali che per svolgere la maggior parte del lavoro di sintesi dei segnali audio. La tecnica di sintesi più usata consiste nel determinare i valori di campionamento della forma d'onda da ottenere e applicarli ad un convertitore digitale-analogico. Con questo metodo si impone un gravoso lavoro di calcolo all'elaboratore. Con sistemi « batch » e « time-sharing » occorre eseguire delle registrazioni intermedie che tolgono all'utente l'immediatezza dell'ascolto; per ottenere suoni in tempo reale, anche per brevi durate, occorrono sistemi di calcolo di discreta potenza e velocità dedicati solo a questo scopo.

#### b) metodo ibrido

il calcolatore è usato per elaborare i dati musicali i quali vengono inviati ad apparecchiature distinte che svolgono tutto il lavoro di sintesi. Con questo metodo si ha in generale meno flessibilità nella determinazione delle forme d'onda ma si fa risparmiare notevolmente il tempo di calcolo all'elaboratore e risulta possibile fare la sintesi di suoni complessi in maniera agevole.

Il sistema per la sintesi di Computer Music realizzato a Pisa è basato sul metodo ibrido sopra descritto; l'organizzazione del sistema TAU2-TAUMUS è mostrata in fig. 1; in essa compaiono:

- la telescrivente, di cui l'utente si serve per scambiare le informazioni col calcolatore (introduzione di testi, comandi etc.);
- il calcolatore digitale, che contiene l'archivio dei testi musicali, i

**Fig. 2**  
**Harmonic**  
**synthesis**  
**performed**  
**by TAU2**

- a digital computer which stores data processing programs and the music library
- the audio-terminal which receives the parameters of the sounds to be emitted from the computer and controls the transmission and reception of the data.

## **TAU2**

### **Operating Principles**

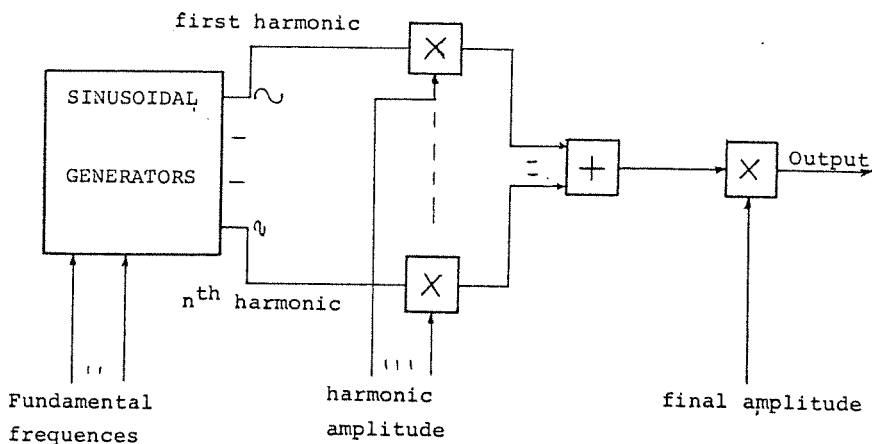
TAU2 generates complex sounds by harmonic synthesis and time varying spectra as shown in Fig. 2. The resulting signal is produced by adding together several sinusoidal harmonic signals whose amplitudes can be varied individually. The lowest frequency signal, called fundamental or first harmonic, identifies the musical note (or « voice ») to be emitted, while the time-varying spectra provide the timbre of the note.

TAU2 is a polyphonic device composed of many signal sources and modulating circuits, shared among channels; each channel produces a complex sound obtained by adding together different notes emitted simultaneously. The parameters which control the sounds emitted by TAU2 are specified separately for each channel and consist of values  $F_1 \dots F_k$ ,  $D$ , which specify the fundamental frequencies and length of the notes, and of values  $A_1 \dots A_n$ ,  $V$ , which define the timbre and volume of the sounds emitted by each channel. The minimum time interval necessary to modify the sound characteristics in an apparently continuous manner has been estimated at 10 ms.

### **Data Organization**

Further information requested by the identification process is added to the binary data which define the sound parameters, so determining the data strings, named musical instructions. These are made up of:

- a) the timbre instruction which contains the parameters  $A_1 \dots A_n$  of each of the three audio channels
- b) the sound instruction which contains all the remaining sound parameters



- programmi per la gestione dell'archivio per l'elaborazione e la codifica dei testi e per la trasmissione dei dati al terminale audio;
- il terminale audio, composto a sua volta da un'unità digitale, che riceve i parametri dei suoni dal calcolatore e scambia con esso i comandi necessari al corretto trasferimento dei dati, e da una unità analogica che ha il compito di convertire i parametri in segnali elettroacustici.

## II TAU2

### Principio di funzionamento

Nel TAU2 i segnali audio sono ottenuti con un processo di sintesi armonica a spettro variabile secondo lo schema di fig. 2. Il segnale d'uscita è ottenuto sommando un certo numero di segnali sinusoidali con frequenza in rapporto armonico fra di loro e con ampiezze regolabili dinamicamente e individualmente: il segnale a frequenza più bassa è detto « fondamentale » o prima armonica e caratterizza la nota musicale (o « voce ») da emettere, mentre l'evoluzione temporale delle ampiezze dei segnali armonici contribuisce a caratterizzare il timbro associato alla nota musicale.

Il TAU2 è uno strumento polifonico; esso è costituito da molte sorgenti di segnali e da numerosi circuiti modulatori, organizzati a « canali », ognuno dei quali emette un segnale complesso ottenuto sommando diverse note emesse contemporaneamente.

I parametri che controllano i suoni prodotti dal terminale sono specificati per ciascun canale e sono costituiti dai valori  $F_1 \dots F_k$ ,  $D$ , relativi alle frequenze fondamentali e alle durate delle note, e dai valori  $A_1 \dots A_n$ ,  $V$  relativi alla composizione armonica ed al volume dei segnali emessi dal canale. Il minimo intervallo di tempo per ottenere delle variazioni quasi continue delle caratteristiche dei suoni d'uscita è stato valutato a 1/100 di sec.

### Organizzazione dei dati

Ai valori binari con cui sono codificati i parametri dei suoni sono aggiunte altre informazioni necessarie alla loro identificazione. Sono stati perciò

**Fig. 3**  
**Block**  
**diagram**  
**of TAU2**

c) other instructions necessary for the correct execution of the digital data.

All the instructions containing sound parameters also contain those of length.

The time interval,  $t$ , in which sounds of constant parameters are emitted from TAU2, is determined by the digital unit according to the values of the length parameters and the value of a constant,  $T$ , which is selected from the control panel before playing a piece; when playing has stopped, the tempos can be varied by modifying the parameter  $D$ , via software, or by resetting the constant  $T$  on the control panel manually.

### **TAU2 Structure**

A musical text called from the computer library or loaded into it via teletype, is represented in the computer memory in a suitable code by the software TAUMUS; when the user orders the selected text to be played a special coding program prepares the sequences of musical instructions previously described, assembles them in data blocks of a fixed size and sends them to TAU2.

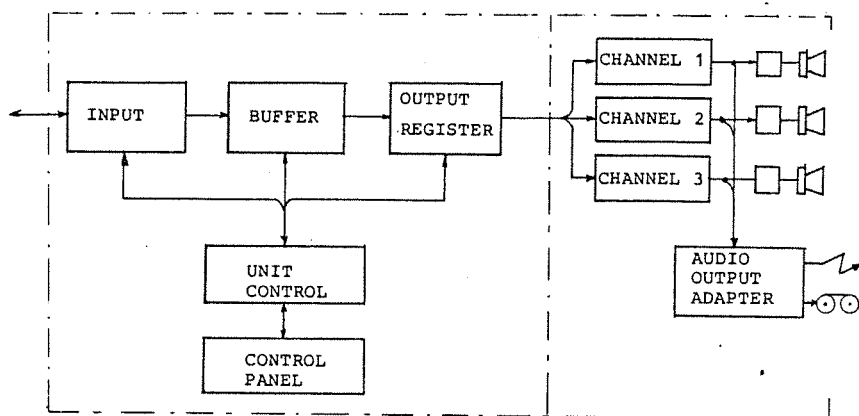
A block diagram of TAU2 is shown in Fig. 3.

TAU2 is connected to the host computer by a direct transmission link and an interface circuit; incoming data blocks, containing musical instructions, are written serially into a buffer memory and then called from it and loaded into an output register, connected to the audio unit, by the control unit. The duration of playing depends on the time parameter  $D$ , which specifies the length of the sounds; the audio signals emitted by TAU2 can be applied directly to a set of power audio amplifiers, or transmitted via telephone or radio links. The TAU2 user controls the process by means of commands given via teletype or via the control panel.

In the TAU2 time-sharing system any musical text may be played non-stop since, owing to the sound synthesis procedure adopted, the transmission rate of the musical instructions is normally higher than the execution rate; a small-size memory is more than sufficient to compensate for the temporary differences of velocity of data coming and leaving the digital unit.

### **Musical Characteristics**

The number of possible values which can be assumed by each parameter and the length of time intervals have been chosen by taking into



definiti degli insiemi di dati detti « istruzioni musicali »: l'istruzione timbro, che contiene i parametri  $A_1 \dots A_n$  dei tre canali, l'istruzione suono, che raggruppa tutti i rimanenti parametri, e altre istruzioni che servono per la corretta interpretazione dei dati. Tutti i tipi di istruzioni contengono inoltre il parametro « Durata ».

L'intervallo di tempo  $t$  nel quale sono emessi determinati suoni viene calcolato dall'unità digitale del TAU2 in base ai valori del parametro Durata e di una costante  $T$  fissata sul pannello di comando prima di iniziare l'esecuzione del brano; è possibile rallentare o accelerare i tempi arrestando l'esecuzione e variando  $D$  per programma, con la telescrivente, oppure variando  $T$ , agendo manualmente sul pannello del TAU2.

### Struttura del TAU2

Un testo musicale richiamato dall'archivio o introdotto tramite telescrivente viene rappresentato nella memoria del calcolatore con un certo formalismo di cui si parlerà a proposito del software di gestione TAUMUS: quando viene ordinata, tramite telescrivente, l'esecuzione del testo, con o senza specifiche di elaborazione rispetto alla sua versione originale, un programma di codifica costruisce le sequenze di istruzioni musicali sopra citate e le invia al TAU2 per mezzo di blocchi di bytes di lunghezza fissa.

Lo schema a blocchi del TAU2 è mostrato in fig. 3.

Il TAU2 è collegato al calcolatore pilota tramite un collegamento diretto multipolare e un'unità d'ingresso che funziona da interfaccia per le informazioni e per i segnali di controllo della trasmissione. I blocchi di dati digitali contenenti le istruzioni musicali vengono memorizzati byte per byte in una apposita memoria tampone tramite opportune operazioni di sincronizzazione; l'unità di controllo richiama le istruzioni dalla memoria, estrae i parametri e tramite i registri operativi applica i valori binari agli ingressi dell'unità audio. Le istruzioni vengono eseguite secondo il vincolo temporale espresso nelle istruzioni stesse tramite il parametro « Durata ». I segnali audio possono essere ascoltati localmente mediante un normale sistema di diffusione acustica a tre vie, oppure possono essere inviati a distanza mediante un collegamento telefonico o radiofonico. L'utente sceglie le modalità di esecuzione del brano attraverso la telescrivente e tramite i comandi posti sul pannello del TAU2. L'esecuzione ininterrotta di un brano di qualsiasi lunghezza risulta possibile perché, grazie al metodo di sintesi armonica, la velocità di arrivo delle istruzioni, che dipende dalle fasi di elaborazione, codifica e trasmissione, nel collegamento time-sharing adottato supera mediamente quella

consideration the characteristics of the hearing perception and some requirements of simplicity in the realization.

The fundamental frequencies of sounds emitted by TAU2 can vary in a range of 255 values, from 32.7 Hz to 4330 Hz. The frequency resolution is one sixth of a well-tempered tone; the frequency range extends over more than seven octaves. The frequencies of the harmonics are selected from the previous set and from two other octaves of a higher frequency. The length of the sounds is defined in a range of 31 values of a reference unit, which can be set manually from 1 to 999 ms with 1 ms resolution. The timbre of the sounds is controlled by varying the intensity of the seven harmonics; the range of the values of each harmonic is from 1 to 7, in relative units. The main volume of signals generated by each audio channel can be varied within a range of 15 values.

TAU2 can play polyphonic pieces of up to 12 voices; each of the three audio channels of TAU2 emits 4 voices having the same timbre and volume, while the frequencies and lengths of the voices are totally independent: at a given time 12 values of frequency, 3 values of timbre and 3 values of volume can then be changed simultaneously.

A more detailed description of TAU2 can be found in the review « Alta Frequenza », Vol. XLVI, n. 12, December 1977.

## **TAUMUS - TAU2 management software**

TAUMUS is the management program of the audio-terminal TAU2; while TAU2 has the task of playing TAUMUS has that of the composition and processing of sound structures; these are controlled by the user who is able to intervene at various levels.

The basic functions of TAUMUS may be divided into COMPOSITION, PROCESSING and LIBRARY MANAGEMENT, for which mainly two areas in store are used, i.e. a WORK AREA and a LIBRARY. The work area houses all the processes of the sound structures; from it they may be sent to the library where they are stored definitely, and/or to TAU2 for playing.

The figure on the centre pages shows the facilities of TAUMUS and the commands handled by the user. The user « converses » with TAUMUS by typing commands on the teletype keyboard and receiving messages or requests from TAUMUS on the teletype display. The teletype is

di esecuzione delle istruzioni. È sufficiente una limitata capacità della memoria per compensare le differenze di velocità che si verificano in certi istanti fra ingresso e uscita dell'unità digitale.

### **Caratteristiche musicali del TAU2**

Riassumiamo schematicamente le caratteristiche musicali.

Il numero dei possibili valori dei parametri musicali dei suoni è il risultato di un compromesso tra le caratteristiche della percezione auditiva e alcuni requisiti di semplicità nella realizzazione del terminale. Il TAU2 dispone di una gamma di 255 frequenze in fondamentale comprese tra 32,7 e 4330,53 Hertz il cui rapporto intervallare di base è un sesto di tono temperato: la gamma pertanto comprende 7 ottave complete più tre suoni; inoltre esistono altre 2 ottave superiori utilizzate come armoniche.

Le durate dei suoni sono definite per programma fra i 31 valori di un'unità relativa, regolabile sul pannello di comando fra 1 e 999 ms.

La forma d'onda (timbro) può essere definita controllando dinamicamente il volume delle prime 7 armoniche entro 7 valori di ampiezza. Il volume generale del segnale di un canale può essere regolato dinamicamente entro 15 valori di intensità.

Il TAU2 può eseguire testi polifonici fino a 12 voci. Le voci sono indipendenti in frequenza e durata e sono raggruppate in tre canali comprendenti 4 voci ciascuno per quanto concerne la timbrica e il volume: l'evento sonoro più complesso può quindi comprendere 12 voci, 3 timbri e 3 valori d'intensità diversi.

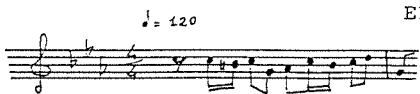
Una descrizione più accurata del TAU2 e una completa bibliografia sono contenute nella relazione « TUA2: un terminale audio per esperimenti di Computer Music » pubblicata su Alta Frequenza, Vol. XLVI, n. 12, dicembre 1977. X

### **TAUMUS - Software di gestione del TAU2**

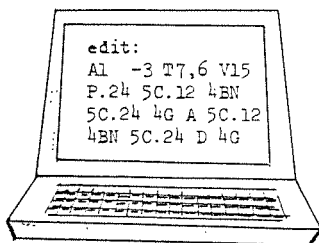
Il TAUMUS è il programma di gestione delle risorse del terminale audio TAU2: se a quest'ultimo compete la funzione dell'esecuzione, al TAUMUS spetta quella della composizione e della elaborazione di strutture sonore: composizione ed elaborazione vengono controllate dall'uomo con possibilità di più livelli di intervento.

Le funzioni fondamentali svolte dal TAUMUS sono tre: COMPOSIZIONE,





EDIT-FILE



a

b

Fig. 4 - Translation of traditional musical score into notation suitable for use with TAUMUS (EDIT, FILE, READ commands)

connected to an IBM 370/168 system, on which the program operates. (See Fig. 1).

## Functions of TAUMUS

### 1. Composition

The commands which deal with composition have two roles, a) that of permitting deterministic composition, as in the case of classical pieces, and b) semi-automatic or automatic composition. In the former case (Assignment of a Piece) the user has a code for translating traditional musical scores into notations suitable for use with TAUMUS (Fig. 4).

In the latter case semi-automatic composition is effected mainly by the command CREATE which gives access to a sub-environment of TAUMUS in which the user has a further set of commands to give him a particular control over the process of composition, i.e. a control which sets a limit to randomness in those numerical generation processes of TAUMUS which determine the characteristics of the music produced (Fig. 5).

In the case of automatic composition (the option RANDOM), on the other hand, the user intervenes only to start and stop the generation and playing processes.

### 2. Processing

The commands which perform this function permit the user to modify the sound structures contained in the work area, whether they are a result of operations of composition or whether they have come direct from the library.

When using these commands the user must specify:

- the nature of the command
- the areas of the piece to be processed
- the quality and/or quantity of the processing
- the sound parameters (frequency, duration, timbre, volume) he wants to modify.

Rather than give a detailed description of all the commands, their forms and special features, we shall give an example of just one, exactly as if it had been assigned via teletype and carried out immediately by TAUMUS, i.e.

MODIFY FA1 | +9,26,33,4

FREQ	DUR	TIM	VOL
00	24	7654321	15
145	12	7654321	15
142	12	.....	..
145	24		
130	24		
133	24		
145	12		
142	12		
145	24		
151	24		
130	24		
...	..		
...	..		
...	..	.....	..

READ

PLAY

110011011010101001110011010101110

1100110001101010100111010101110011

c

d

**RIELABORAZIONE, GESTIONE DELLA LIBRERIA.** Per svolgere tali operazioni il TAUMUS dispone principalmente di due zone di memoria: un'AREA OPERATIVA e una LIBRERIA. L'area operativa è la sede di tutte le elaborazioni del materiale sonoro; da essa le elaborazioni possono venire indirizzate alla LIBRERIA per la conservazione definitiva, e/o al TAU2 per l'esecuzione.

La figura delle pagine centrali dà una rappresentazione completa delle risorse del TAUMUS e dei comandi attraverso i quali l'utente interviene. Fisicamente l'utente « conversa » con il TAUMUS tramite una telescrivente collegata ad un elaboratore IBM 370/168, sul quale opera il programma. La conversazione si espleta con comandi che l'utente invia da telescrivente, e messaggi o richieste che il TAUMUS invia alla telescrivente. Vedi fig. 1 per il sistema fisico.

## Le funzioni del TAUMUS

### 1. Composizione

I comandi che realizzano questa funzione hanno il duplice compito di consentire la composizione deterministica, come succede nel caso dei brani classici, e la composizione semiautomatica o automatica. Nel primo caso (Assegnazione Testo) l'utente ha a disposizione un codice per la traduzione da notazione musicale tradizionale a notazione adatta al TAUMUS (fig. 4).

Nel secondo caso la composizione semi-automatica viene realizzata principalmente con il comando CREATE. Esso apre un « sottoambiente » del TAUMUS, accedendo al quale l'utente dispone di una serie ulteriore di comandi che consentono un certo tipo di controllo sul processo di composizione.

Tale controllo consiste nella facoltà di porre delle limitazioni al fattore casualità in quei processi di generazione numerica del TAUMUS che determinano le caratteristiche della musica prodotta (fig. 5).

Nel caso della composizione automatica (opzione RANDOM), invece, l'utente interviene solo provocando l'avvio e l'arresto del processo di generazione ed esecuzione.

### 2. Rielaborazione

I comandi che realizzano questa funzione consentono all'utente di apportare modifiche sul materiale sonoro contenuto nell'area operativa, sia

Fig. 5  
Semi-automatic  
and automatic  
composition  
(CREATE, RANDOM commands)

This command brings about the frequency transposition (F) of nine sixths of a tone towards the acute (+9), of one note every four (4) among those of the first voice of channel A (A1) which lie between the 26th and 33rd note; A1,26,33,4 refer to the part of the piece which undergoes the change while F, +9 refer to the quality and quantity of the modification itself. If the letter « F » (Frequency) were substituted by « D » (Duration), i.e.

```
MODIFY DA1 | +9,26,33,4
```

the duration of the notes would be increased by 9/100ths of a second. The possibilities of processing a piece are manifold if we consider that the modifications listed may be applied to the whole piece or to single voices and that within a single voice they can be applied to sections, to alternate notes and to blocks of notes of a fixed or variable length.

As in the case of composition, this function of TAUMUS may be used automatically; in fact with the command VARY a series of procedures are activated which, on the basis of pseudo-random generation, carry out variations and modifications on the original piece and then play it immediately.

## 2.1 Modulation

The process of sound modulation is based on the use of « patterns » i.e. on sequences of the values of timbre, volume and frequency, which are given to single sounds in order to obtain evolutions of the sound parameters.

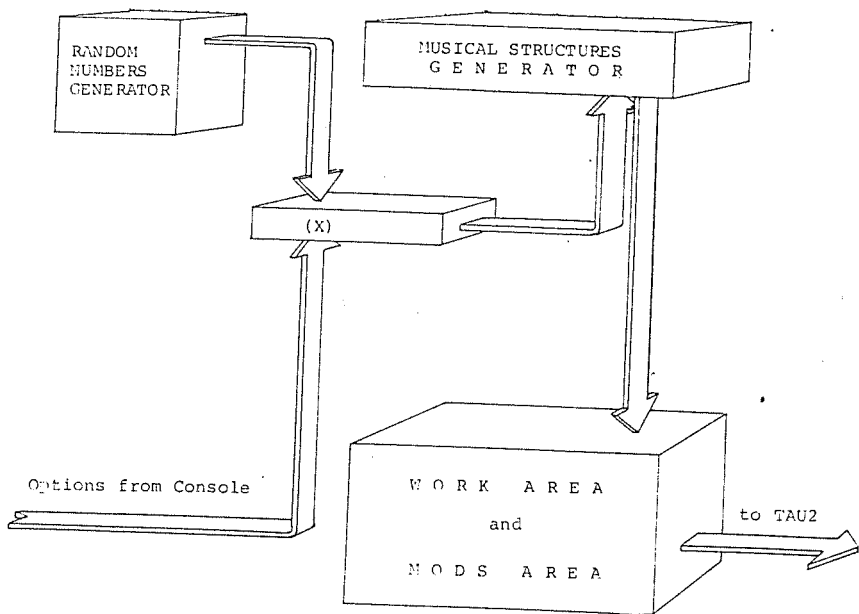
The « patterns » are pieces just like the others and can be composed by the methods previously mentioned and then stored in the library.

In order to obtain a sound modulation, the user must:

- place the modulating pattern in a special area
- place the piece to be modulated in the work area
- request the modulated playing

There is a simple command for each of these operations.

Fig. 8a, shows the notes of one voice of the piece to be modulated, already loaded in the work area while Fig. 8b shows the special area containing the pattern in a symbolic form. When the modulated playing is requested, TAUMUS will substitute the timbre and volume of each note of the voice to be modulated with the sequences  $T_a, T_b, T_c, \dots$  and  $V_a, V_b, V_c, \dots$  of the pattern and will increase the single frequencies of the voice to be modulated with the sequence  $F_a, F_b, F_c, \dots$ . The timbres, volumes and frequencies of the pattern will follow each other at the rate



esso il frutto di operazioni di composizione o di prelevamento diretto dalla libreria. (vedi piú avanti)

Nell'utilizzare questi comandi l'utente dovrà specificare:

1. la natura del comando
2. le zone del brano da rielaborare
3. la qualità e/o la quantità delle rielaborazioni
4. i parametri acustici (frequenza, durata, timbro, volume) sui quali vuole intervenire.

Senza affrontare la trattazione sistematica dei comandi, della loro forma e delle loro funzioni particolari, presentiamo, a titolo di esempio, un comando così come può essere assegnato via telescrivente ed istantaneamente eseguito dal TAUMUS:

MODIFY FA1 | +9,26,33,4

Questo comando provoca la trasposizione frequenziale (F) di nove sestoni di tono verso l'acuto (+9) di una nota ogni quattro (4), fra quelle della prima voce del canale A (A1) che sono comprese entro la 26a e la 33a nota: i caratteri A1,26,33,4 riguardano dunque la zona del brano sottoposta a modifica; i caratteri F, +9 riguardano la qualità e la quantità della modifica stessa. L'utilizzo della lettera « D » (Durate) al posto della « F » (Frequenze):

MODIFY DA1 | +9,26,33,4

provoca invece l'incremento di nove centesimi di secondo delle stesse note.

Le possibilità di rielaborazione di un brano si moltiplicano poi se si considera che le modifiche elencate possono venir applicate a tutto il brano o alle voci singolarmente e, nell'ambito di una voce, a sezioni, a note alterne, a « blocchi » di lunghezza fissa o variabile.

Come nel caso della composizione è possibile usare questa funzione del TAUMUS in maniera automatica; con il comando VARY viene infatti attivata una serie di procedure, che sulla base della generazione di numeri casuali, esegue variazioni e modifiche sul testo originale e ne provoca l'immediata esecuzione.

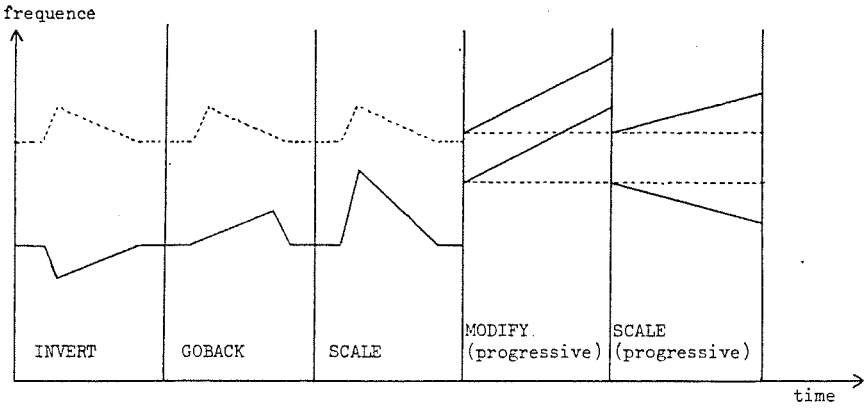


Fig. 6 - Effects of some processing commands

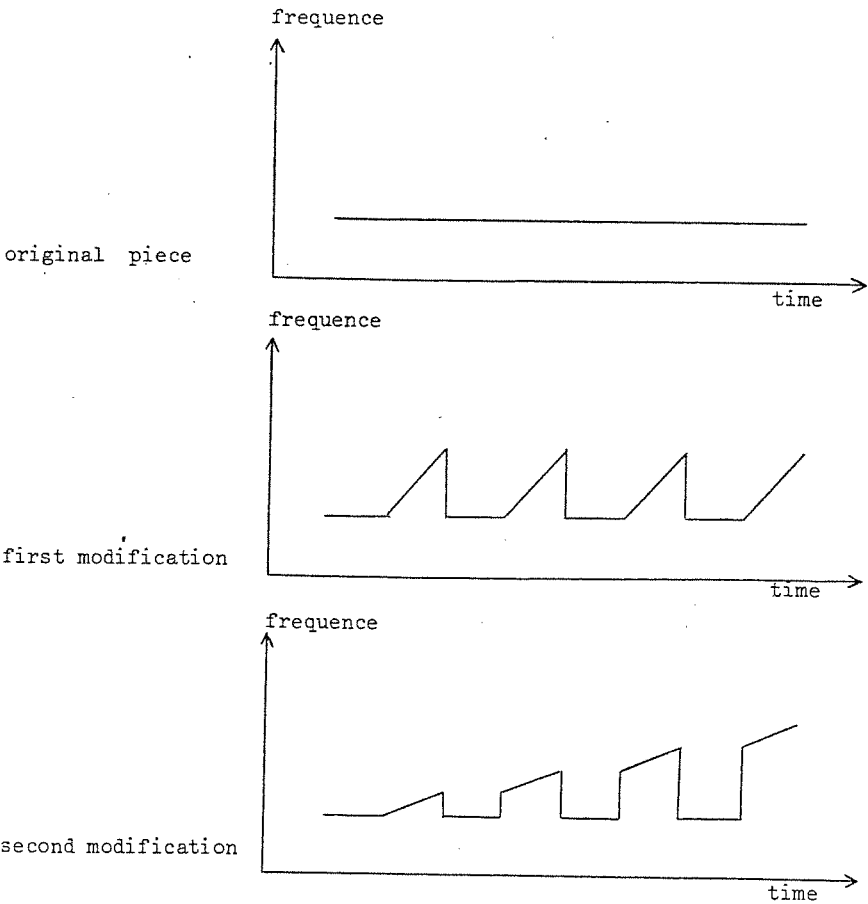
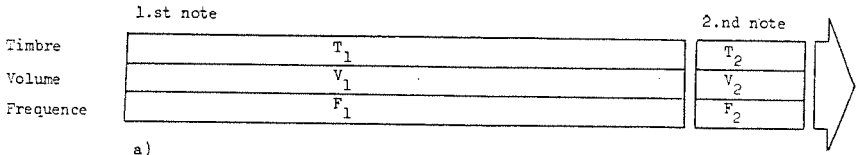
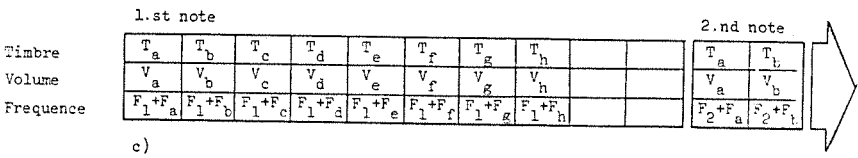


Fig. 7 - Progressive modifications with segmentation

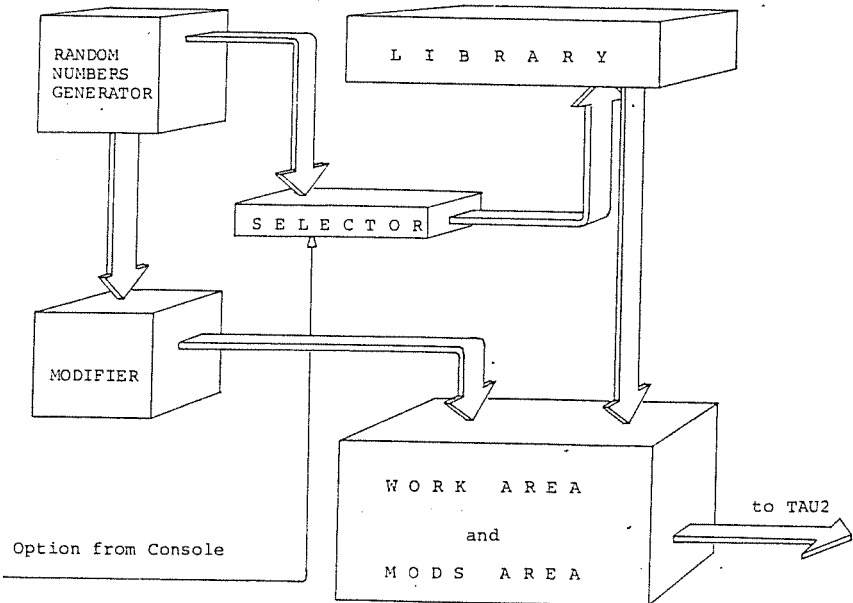


Timbres	$T_a$	$T_b$	$T_c$	$T_d$	$T_e$	$T_f$	$T_g$	$T_h$
Volumes	$V_a$	$V_b$	$V_c$	$V_d$	$V_e$	$V_f$	$V_g$	$V_h$
Frequencies	$F_a$	$F_b$	$F_c$	$F_d$	$F_e$	$F_f$	$F_g$	$F_h$

b)



**Fig. 8 - How TAUMUS modulates the notes (PLMD, SETMOD, STOREMOD commands)**



**Fig. 9 - Automatic Library management with random processing**

of one every hundredth of a second. The result is shown in Fig. 8c.

### 3. Library Management

The library management commands enable the user to manipulate the data stored and to send them to the work area in various ways. It is possible, for example, to erase pieces, change their titles, load more than one of them at a time in sequence into the work area (for mixing purposes) or to load in parallel single voices from different pieces, etc. It is also possible to perform these operations automatically by means of the command EXEC. With this command TAUMUS starts the playing of a selected series of pieces which are taken from the library at random. Each piece is made to play a certain number of variations which are brought about by using, still at random, the procedures of the processing commands.

In this way TAUMUS simulates the intervention of the user who selects pieces from the library, modifies them in various ways and plays them, but does so without any interruptions (Fig. 9).

Table 1 gives the TAUMUS commands, grouped together according to the function they perform.

Commands	COMPOSITION		PROCESSING				LIBRARY MANAGEMENT	
	Text Editing	Automatic Generation	Modification	Reordering	Modulation	Voices Management	Library Operations	Data Transfer
CHAIN -----								X
COME -----		X						
CREATE -----		X						
DROP -----								X
DUPLICATE) -----						X		
EDIT -----	X							
EXEC(ute) -----		X	X	X	X	X		X
EXCH(ange) -----							X	
GOBACK -----				X				
INSERT -----								X
HFR (Setmod) -----					X			
HWL (Storemod) -----					X			
LOAD -----								X
MIX -----				X				
MODIFY -----			X					
PLM -----					X			
READ -----	X							
RELOC(ate) -----							X	
RENAME -----							X	
SAVE -----			X					X
SCALE -----								
SHUFFLE -----				X				
TEXT -----	X							
TRANSF(er) -----						X		
VARY -----			X	X	X			

Basic commands of TAUMUS and their function

## 2.1 Modulazione

Il processo di modulazione si basa sull'utilizzo di « modelli », cioè di sequenze di valori timbrici, volumetrici e frequenziali, che vengono attribuiti ai singoli suoni così da avere evoluzioni dei parametri acustici. I modelli sono a tutti gli effetti dei brani come gli altri, e possono venir composti con i metodi già ricordati e conservati in libreria.

Volendo realizzare una modulazione, l'utente dovrà

- porre in un'area speciale il modello modulante
- porre nell'area operativa il brano da modulare
- richiedere l'esecuzione modulata

Ognuna di queste operazioni corrisponde ad un semplice comando. Rappresentiamo in fig. 8a le note di una voce del brano da modulare già caricato nell'area operativa, e supponiamo che l'area speciale contenga già il modello modulante che rappresentiamo in forma simbolica in fig. 8b. Al momento della richiesta dell'esecuzione modulata il TAUMUS sostituirà il timbro ed il volume di ogni nota della voce da modulare con la sequenza  $T_a, T_b, T_c \dots$  e  $V_a, V_b, V_c \dots$  dei timbri e dei volumi del modello, ed incrementerà le singole frequenze della voce da modulare con la sequenza  $F_a, F_b, F_c \dots$ . Timbri, volumi e frequenze del modello si susseguono al ritmo di uno ogni centesimo di secondo. Il risultato di questa operazione è schematizzato in fig. 8c.

## 3. Gestione della Libreria

I comandi di gestione della libreria mettono l'utente del TAUMUS in condizione di manipolare i dati archiviati e di inviarli all'area operativa in differenti maniere. È possibile ad esempio cancellare brani, cambiarne i nomi, caricarne nell'area operativa più di uno in sequenza (per eventuali operazioni di mixaggio), o caricare in sovrapposizione singole voci da brani differenti, e così via.

Questo è l'aspetto manuale di tale funzione. Anche in questo caso è possibile utilizzare tale funzione in modo automatico. Con il comando EXEC, infatti, il TAUMUS dà il via all'esecuzione di una serie prescelta di brani che vengono prelevati casualmente dalla libreria; ogni brano viene fatto eseguire con un certo numero di variazioni, le quali vengono realizzate utilizzando, sempre in modo casuale, le procedure dei comandi di rielaborazione.

In questo modo il TAUMUS simula l'operato di un utente che, ininterrottamente, sceglie brani di libreria, li modifica in vario modo e li esegue (fig. 9).

Per concludere, diamo una tabella riassuntiva dei comandi del TAUMUS raggruppati per tipo di funzione che svolgono.