

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Tre esperienze di psico-acustica musicale

T. Bolognesi - M. Milani - L. Tarabella

132

CNUCE

Divisione Musicologica

A cura di : Tommaso Bolognesi
Mario Milani
Lionello Tarabella

Copyright - Novembre 1977

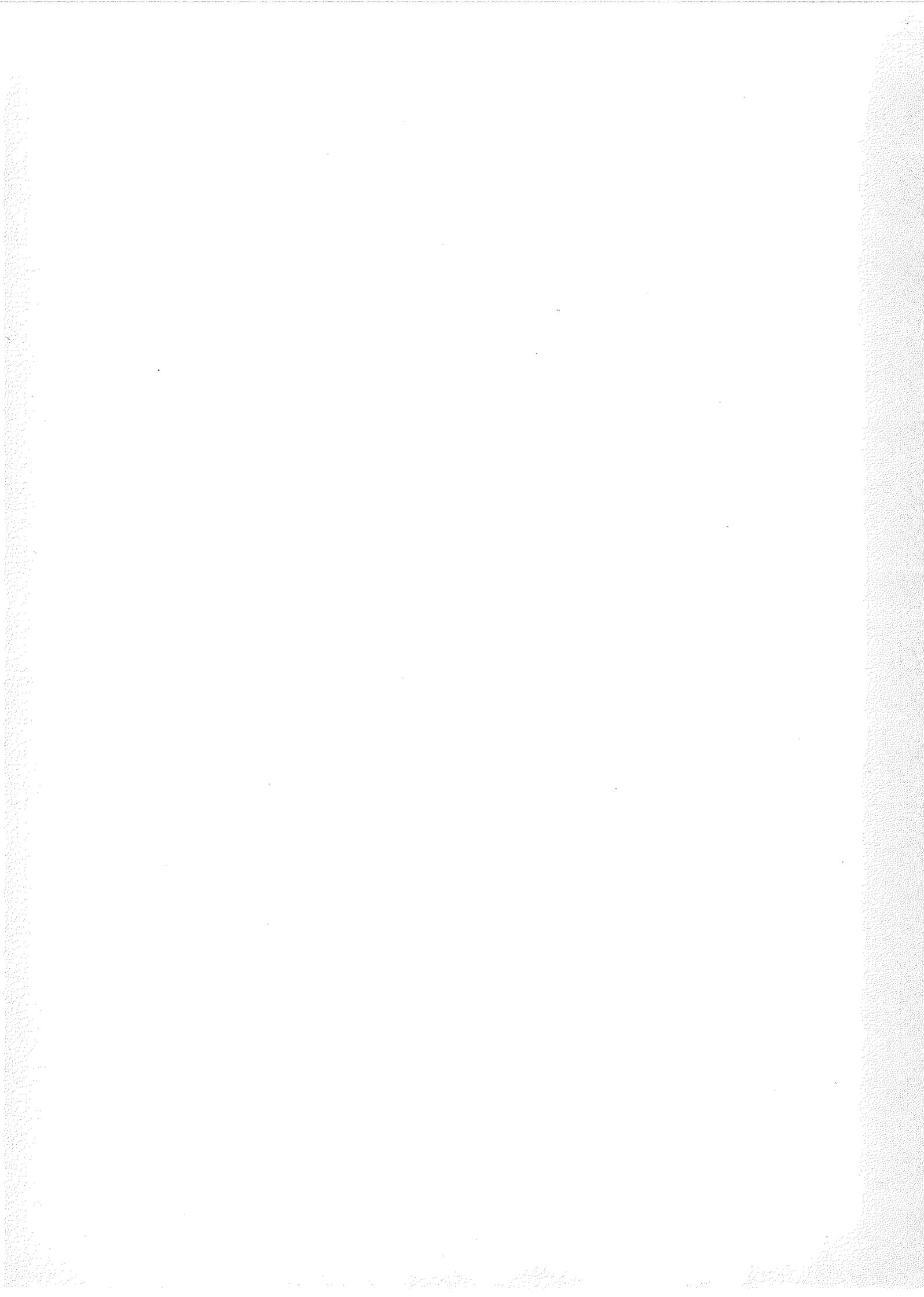
by - CNUCE - Pisa

Istituto del Consiglio Nazionale delle Ricerche

TRE ESPERIENZE DI PSICO-ACUSTICA MUSICALE

INDICE

-	Relazioni tra testi elaborati con il metodo delle Catene di Markov -----	1
-	Esperienze di percezione ritmica -----	10
-	Percezione delle armoniche -----	22



La presente pubblicazione affronta tre problemi inerenti la psico-acustica musicale e strettamente legati ad una corretta impostazione dei programmi che si propongono l'automazione dei processi creativi.

L'uso del calcolatore per la produzione (automatica) di suoni o addirittura di intere strutture, consente una gestione dettagliata di molti dei parametri che hanno parte nel costruito musicale.

Ne deriva quindi la precisa esigenza di valutare costantemente il rapporto fra l'oggetto prodotto e la corrispondente immagine psicoacustica.

Sia per inadeguatezza di forze disponibili, sia per le finalità stesse della Divisione Musicologica, si è ritenuto opportuno configurare il lavoro quale primo approccio alle metodologie della indagine psicoacustica, con lo scopo di ottenere indicazioni qualitative utilizzabili nell'attività in corso.

Una sintesi del presente scritto è stato presentato al 'Simposio di Psico-acustica Musicale' tenutosi all'IRCAM-GALF di Parigi nei giorni 11-13 luglio 1977.

RELAZIONI TRA TESTI ELABORATI CON
IL METODO DELLE CATENE DI MARKOV

Generalita'

Il processo stocastico di Markov, costituisce una irresistibile attrattiva ogni qual volta si parli di algoritmi per analisi stilistiche e per la simulazione di tecniche compositive.

Con questa prima parte del nostro lavoro si e' voluto iniziare ad indagare su prerogative e limiti di tale metodo applicato all'analisi e alla sintesi di testi musicali.

Riportiamo brevemente definizioni e proprieta' riguardanti il processo stocastico delle Catene di Markov.

Consideriamo una sequenza di eventi

..... X_i X_{i+n}

che soddisfano le seguenti proprieta':

a) ogni evento appartiene ad un insieme finito

a_1 a_2 a_m

chiamato 'spazio degli stati del sistema' o

'alfabeto dei simboli' della sorgente.

b) ogni evento dipende solo da quello precedente e da nessun altro ; per ogni coppia di stati o simboli (a_i , a_j) c'è una data probabilità p_{ij} che a_j accada immediatamente dopo a_i .

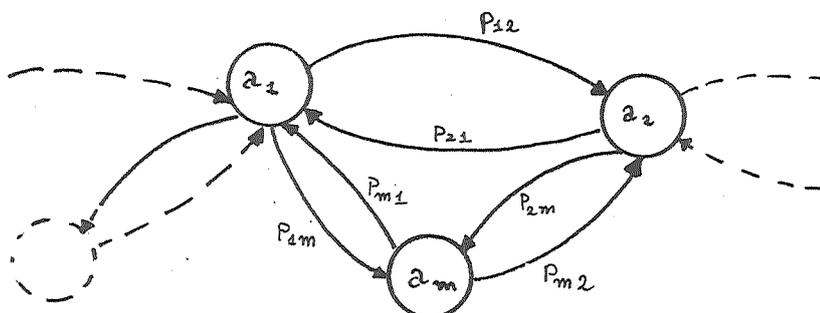
Tale processo è chiamato una Catena di Markov finita.

I numeri p_{ij} possono essere disposti a matrice quadrata

$$P = \begin{vmatrix} p_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & p_{1m} \\ \cdot & & & & \\ \cdot & & & & \\ \cdot & & & & \\ p_{m1} & & & & p_{mm} \end{vmatrix}$$

chiamata matrice delle probabilità di transizione.

Il processo può essere visualizzato con un grafo



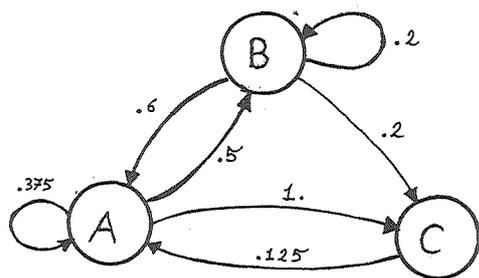
Ad esempio, esaminiamo il seguente messaggio letterale

. . . B B A B A A A A C A B A B C A B . . .

Se noi definiamo ogni simbolo come formato da un carattere, l'alfabeto della sorgente ideale che ha generato il messaggio è

A B C

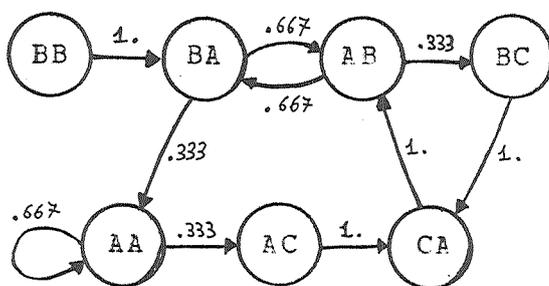
Prendendo i simboli consecutivamente a due a due, possiamo calcolare la probabilità di transizione della sorgente, ottenendo il grafo



Se definiamo i simboli della sorgente come gruppi di due caratteri consecutivi nel messaggio, otteniamo l'alfabeto

BB BA AB AA AC CA BC

ed il grafo



Il processo e' passibile di generalizzazione definendo i simboli della sorgente come gruppi di k ($k=1, n$) caratteri consecutivi e prende il nome di 'estensione k -esima della sorgente'; in questo caso la presenza di un carattere nel messaggio e' legato probabilisticamente ai k precedenti.

Si dice anche che la sorgente ha 'memoria k ', intendendo con questo che, all'emissione di un carattere, la sorgente tiene conto di cosa e' successo nei k passi precedenti.

La prima indagine che si e' voluto fare riguarda il comportamento di un ascoltatore medio all'audizione di testi sintetizzati facendo uso del processo markoviano.

Assumendo che un brano musicale monodico temperato sia una successione di eventi musicali appartenenti ad un insieme finito, esso puo' essere considerato come un messaggio emesso da una ipotetica sorgente; in base alla definizione di 'estensione k-esima' assegnando diversi indici di memoria e' possibile ricostruire diversi alfabeti dei simboli e le relative matrici di probabilita' di transizione.

- Definizione di evento musicale

Allo scopo di semplificare questa prima indagine abbiamo confinato alla frequenza la definizione di evento musicale trascurando del tutto gli altri attributi che lo caratterizzano, cioe' la durata, la dinamica, l'espressione etc..

E questo sia perche' i mezzi di produzione del suono ed il software di gestione usati trattano solo frequenze e durate, sia perche', per semplicita', si e' voluto ridurre al minimo il numero delle variabili; e dovendo scegliere fra solo durate (ritmo) o solo frequenze (melodia), si e' scelto la seconda limitazione in quanto una linea melodica, in base alla sua struttura, porta in se' anche una struttura ritmica.

- Caratteristiche del programma

Il corredo intorno al quale il processo di Markov e'

stato implementato, consta della sequenza:

IBM.370/168→ IBM.S/7→ DAC→ Ampl→ Altoparlante

e di un software per creare e manipolare testi musicali (Digital Computer Music Program).

Dato che, come detto, il programma opera su brani monodici considerati come successione di coppie di durate-frequenze, l'analisi puo' essere condotta su

Durate

Frequenze

Rapporti di durate

Rapporti di frequenze

oppure sulle coppie

Durate - Frequenze

Rapporto Durate - Frequenze

Durate - Rapporto Frequenze

Rapporto Durate - Rapporto Frequenze

Inoltre, per ogni coppia si puo' operare separatamente o unitamente, e con indice di memoria variabile da 1 a N, dove N e' il numero dei suoni del testo sorgente (1) .

- Caratteristiche dei tests

Un brano , la COURANTE dalla III Suite per Violoncello Solo di J.S. Bach, e' stato trattato opportunamente fino a

divenire una successione di suoni di ugual durata e senza pause ('Brano Campione').

Uguale trattamento ha subito un secondo brano , il PRESTO dalla VI Partita per Violino Solo di J.S. Bach ('Brano di Raffronto'). I due brani sono quindi dello stesso autore, e sono ternari. Per aumentarne la similitudine strutturale, sono stati portati nella stessa tonalita' e alla stessa velocita' (Do magg. - $\bullet = 60$) .

Per ognuno dei due brani sono stati sintetizzati otto testi della durata di 20 secondi circa ciascuno, con memoria da 1 a 8 fino a costituire, posti in ordine casuale, un gruppo di 16 testi (gruppo A).

Poi, con il solo Brano Campione, si sono sintetizzati 16 testi della durata di 20 secondi circa ciascuno, che, posti in ordine casuale, hanno costituito il gruppo B.

Il test, proposto ad un uditorio di 25 persone, si e' svolto come segue:

premessa : ascolto del Brano Campione per 5 volte.

1a fase : ascolto dei testi del gruppo A ;

dopo l'esecuzione di ogni testo veniva domandato se quello ascoltato sembrava essere il Brano Campione o qualcosa di diverso.

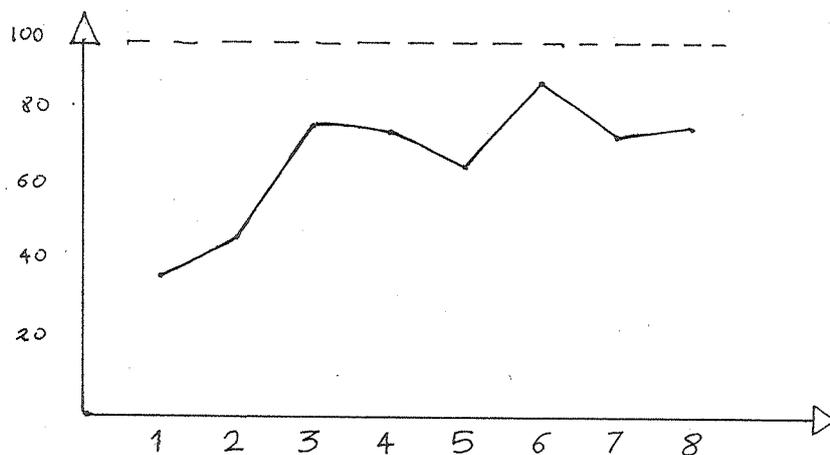
2a fase : ascolto dei testi del gruppo B ; dopo ogni testo si chiedeva di esprimere un giudizio di 'somiglianza' o 'buona imitazione' dell'originale con punteggio da 1 ad 8 .

3a fase : come la prima fase .

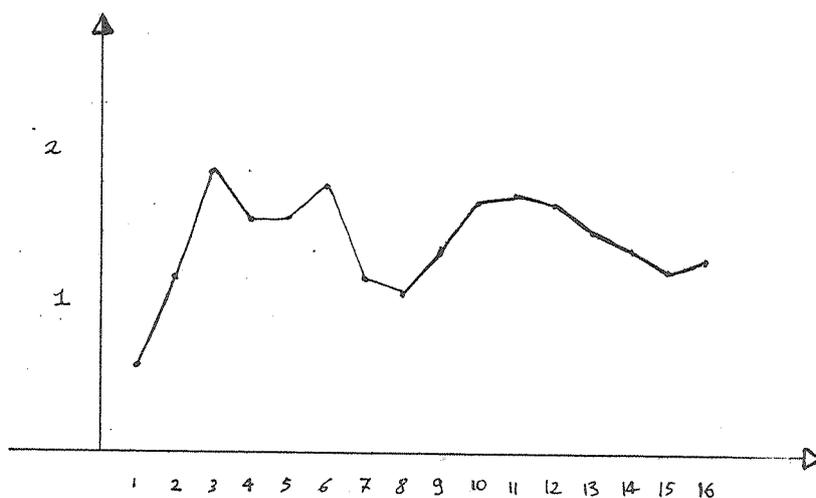
Ogni 4 ascolti veniva eseguito di nuovo il Brano Campione .

- Risultati e conclusioni

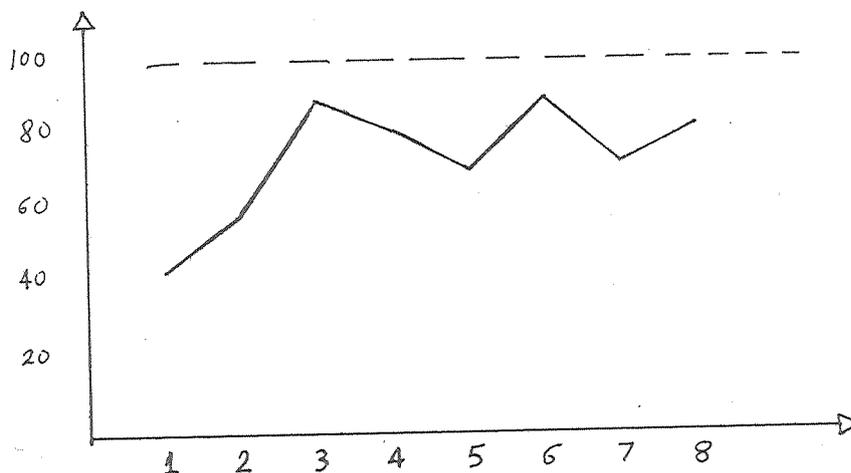
1a fase : posto in ascisse l'indice di memoria ed in ordinate la percentuale delle risposte affermative, si e' ottenuto il grafico



2a fase : posto in ascisse l'ordine delle prove ed in ordinate la deviazione standard dei giudizi forniti dall'insieme degli ascoltatori, si e' ottenuto il grafico



3a fase : con gli stessi criteri della prima fase si e' ottenuto il grafico



Senza entrare nel dettaglio, vorremmo fare qui due considerazioni:

- nella prima e terza fase la curva e' decisamente crescente: cio' sta ad indicare che a maggiore memoria corrisponde maggiore capacita' di discriminazione. La maggiore precisione della curva della terza fase sta ad indicare un raffinamento di giudizio da parte dell'uditorio confermata peraltro dal risultato della seconda fase, che vede, dopo un transitorio, lo stabilizzarsi della deviazione standard intorno al valore 1,5 ;

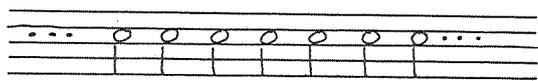
- sempre nella prima e terza fase, in corrispondenza dei valori 3 e 6, la curva presenta dei massimi relativi: tenuto presente che i brani sono ternari, siamo indotti a pensare che il Processo di Markov porti in se' qualcosa di piu' della semplice memoria 'fosforescente', intesa come capacita' di un ascoltatore di mettere in relazione un evento con i precedenti (per lo meno avendo a che fare con brani musicali strutturati) .

I risultati di questa breve indagine sono quindi confortanti e stimolano lo studio delle relazioni tra riconoscibilita' di un fenomeno musicale, struttura del fenomeno stesso e memoria fosforescente.

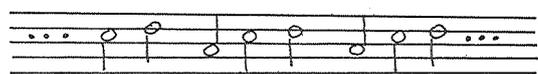
ESPERIENZE DI PERCEZIONE RITMICA

Generalita'

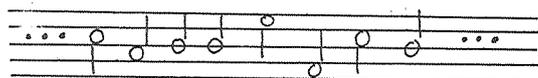
Argomento di questa seconda parte del lavoro e' un'esperienza condotta con lo scopo di avvicinarsi alla comprensione del ruolo giocato dal fattore casualita' nella musica. I fattori "uniformita'" (U) e "struttura" (S) vengono affiancati alla casualita'(C), ottenendo la terna U,S,C. I termini introdotti sono generici ed ambigui; definiamo allora il significato loro attribuito in questo scritto. Consideriamo la quaterna frequenza, durata, intensita' e timbro (F,D,I,T) di parametri del suono. Definiamo "sequenza elementare" ogni sequenza i cui suoni siano tutti caratterizzati dagli stessi valori dei parametri introdotti. Consideriamo l'insieme delle sequenze ottenute da una sequenza elementare facendo variare periodicamente i valori di uno dei parametri: diremo uniformi, strutturate o casuali le sequenze il cui periodo T (inteso come numero di note) di variazione di tale parametro e' rispettivamente piccolo, medio o grande, (3) dove ai termini piccolo, medio e grande si attribuisce un significato puramente relativo. Diamo tre esempi, nei quali le variazioni periodiche riguardano F:



sequenza uniforme
T=1



sequenza strutturata
T=3



sequenza casuale
T=350



1) Liberta' e condizionamento nella ritmica percepita

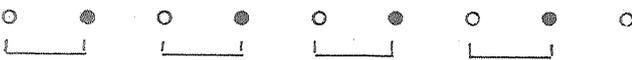
Vogliamo ora ricordare un fenomeno molto comune, tipico della percezione ritmica, che costituisce un presupposto fondamentale per la nostra esperienza. E' noto come, in una sequenza elementare del tipo introdotto, trascurando il caso banale di configurazioni parametriche che rendano percettivamente non individuabili le singole note nel contesto dell'intera sequenza, l'ascoltatore tenda a percepire accentuazioni (strutture ritmiche) che non hanno alcun riscontro nella struttura reale della sequenza stessa, come avviene quando sembra di individuare un ritmo binario (cioe' l'alternarsi di accenti forti e deboli) nel ticchettio di una sveglia, anche quando i colpi siano perfettamente uguali. Cio' corrisponde alla segmentazione della sequenza originaria in sottosequenze uguali (comprendenti, nell'esempio della sveglia, due colpi contigui) le quali, come osservato da Perkins e Howard (4), possono inoltre venire "sentite" come elementi di sottosequenze di ordine superiore. E' importante notare che tale struttura gerarchica non e' univocamente determinata dalla sequenza di partenza ma viene costruita dall'ascoltatore in uno dei diversi modi possibili e in maniera largamente arbitraria. Ora in una sequenza di note uguali per il resto, ma di intensita' alternatamente forte e debole, due segmentazioni fra le piu' immediate, considerando un solo livello gerarchico,

saranno le seguenti:

a) o ● o ● o ● o ● o



b) o ● o ● o ● o ● o



● forte

o piano

ma e' intuibile, tuttavia, come la scelta a) risulti piu' probabile della b).

Si osserva come una opportuna organizzazione dei valori del parametro I (intensita') puo' parzialmente vincolare la scelta della ritmica percepita. Si vuole in sostanza sottolineare che un brano, dal punto di vista ritmico, puo' essere pensato (o percepito) in piu' modi differenti, ma che una opportuna organizzazione o modifica dei valori dei parametri F, D, I, T puo' privilegiare uno di questi modi rispetto agli altri, orientando ad esso la reazione percettiva dell'ascoltatore.

2) Ipotesi di fondo

Si considerino due sequenze musicali monodiche A e B in qualche modo distinte (oggettivamente) e distinguibili (soggettivamente o percettivamente), e formate da note tutte della stessa durata. Chiameremo "mixaggio" delle sequenze A e B l'operazione che si esegue quando da queste due sequenze se ne ottiene una terza, denominata per comodità AB, scegliendo alternativamente una nota della prima sequenza e una della seconda in successione naturale. Nel brano AB, quindi, i suoni dispari sono quelli della prima sequenza, i suoni pari quelli della seconda. Sulla base delle definizioni date all'inizio, abbiamo realizzato una serie di brani base uniformi, strutturati e casuali, facendo variare esclusivamente il parametro frequenza. Similmente a quanto esemplificato nel paragrafo 1, abbiamo osservato come anche il mixaggio di tali brani base possa generare sequenze composte la cui struttura è tale da limitare ed orientare la libertà di scelta della ritmica percepita.

Più in dettaglio, abbiamo assunto la seguente ipotesi:

nel percepire un brano ottenuto dal mixaggio di due sequenze distinte e distinguibili per il diverso andamento del parametro frequenziale, ma costituite da note tutte aventi gli stessi valori dei rimanenti parametri (durata, intensità, timbro) è possibile per un normale ascoltatore effettuare una selezione fra la serie delle note pari e quella delle note dispari, selezione che viene manifestata attribuendo una ritmica soggettiva alla sequenza composta.

Abbiamo ritenuto che la scelta nella ritmica percepita

dipenda dall'interesse relativo attribuito dall'ascoltatore a ciascuna delle due sequenze di base. Una semplice conferma di questa capacita' selettiva e' stata ottenuta proponendo ad alcuni ascoltatori il mixaggio di due segmenti di brani monodici classici caratterizzati da note di ugual durata, intensita' e timbro, e dei quali uno solo fosse largamente conosciuto. Invariabilmente l'ascoltatore ha selezionato e riconosciuto la melodia a lui gia' nota, ed ha manifestato la propria scelta attribuendo l'accentazione forte alle note di tale melodia. Si e' inoltre osservato che, qualora i brani costituenti siano entrambi noti, si riscontra una equiprobabilita' di scelta dell'uno o dell'altro.

3) Composizione dei brani utilizzati

I brani proposti al campione di ascoltatori sono stati realizzati con il programma TAUMUS (5). Utilizzando l'istruzione CREATE e' stato allestito l'insieme di brani base:

UG	uniforme grave
UA	uniforme acuto
SG	strutturato grave
SA	strutturato acuto
CG	casuale grave
CA	casuale acuto

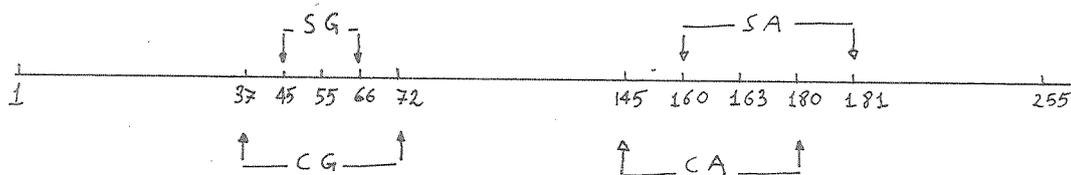
dove sia il carattere uniforme-strutturato-casuale che il carattere grave-acuto si riferiscono al parametro frequenza.

Utilizzando altri comandi del TAUMUS abbiamo mixato i brani base a coppie,ottenendo le nove sequenze:

UGUA	uniforme grave	uniforme acuto
SGSA	strutturato "	strutturato "
CGCA	casuale "	casuale "
UGSA	uniforme "	strutturato "
SGUA	strutturato "	uniforme "
UGCA	uniforme "	casuale "
CGUA	casuale "	uniforme "
SGCA	strutturato "	casuale "
CGSA	casuale "	strutturato "

che sono quelle da noi utilizzate per l'esperienza. Le durate (e i timbri e i volumi) dei brani base sono uniformate per ottenere sequenze composte costituite da note di ugual durata. In particolare esse sono state scelte in modo da ottenere brani composti di velocita' tale da indurre l'ascoltatore a battere il tempo ogni due note e rendere chiaramente rilevabile la scelta della serie delle note pari o delle note dispari (una indicazione sulla scelta di tali durate ci e' stata fornita dalle cosiddette prove di "tempo spontaneo" di M. Stamback (6)). I brani UG e UA rappresentativi dell'elemento uniformita' sono sequenze di note di ugual frequenza: per UG , $f=92.5$ hz (FA #); per UA , $f=740$ hz (FA #). I brani SG ed SA rappresentativi

dell'elemento struttura sono sequenze di scale alternatamente ascendenti e discendenti (tono-tono-semitono-tono) le cui frequenze estreme sono rispettivamente: $f=38.15$ hz (Mib-) ed $f=57.16$ hz (Sib-) per il brano SG, dove il segno "-" corrisponde a un decremento di $1/6$ di tono; $f=698.47$ hz (FA) ed $f=1046.53$ hz (DO) per il brano SA. I brani CG e CA rappresentativi dell'elemento casualita' sono sequenze di note ottenute tramite il processo di generazione di numeri pseudo-casuali utilizzato dal TAUMUS; le note appartengono a una gamma di sestini di tono, quale e' quella del terminale audio TAU2, e sono comprese negli intervalli di ottava delimitati rispettivamente dalle frequenze $f=65.41$ hz (DO) ed $f=130.82$ (DO) per il brano CG, ed $f=523.26$ hz (DO) ed $f=1046.53$ hz (DO) per il brano CA. Riassumiamo nel diagramma seguente la collocazione dei brani nella gamma frequenziale:



dove i numeri si riferano ad una scala a sestini di tono la cui prima nota e' il DO di frequenza 32.7 Hz. Il volume cresce progressivamente dall'inizio dei brani, fino ad assumere valore costante dopo 10 secondi: questo per impedire che venga favorita la scelta del "ritmo dispari", cioe' di quello che prende inizio dalla prima nota. I brani costituenti le sequenze mixate durano 30 secondi ciascuno, dunque queste ultime durano 60 secondi. Tenendo conto della

4) Realizzazione dell'esperienza

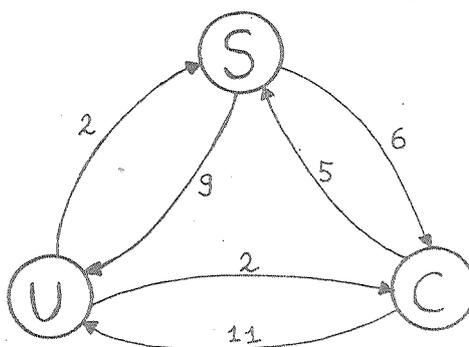
Sono state sottoposte alla prova 28 persone di età comprese fra i 19 e i 27 anni, di provenienza culturale e sociale diverse. Prima della prova, ogni ascoltatore veniva così istruito: "Ascolta questi brani e, al mio cenno, batti il tempo in modo regolare (o a velocità costante), con la mano o con il piede." Il cenno veniva dato dopo circa 15 secondi dall'inizio di ogni brano. Il significato della prova è stato tenuto il più possibile nascosto a chi doveva ancora sottoporsi per evitare eventuali condizionamenti nelle scelte. Non c'è stato praticamente alcuna difficoltà per capire su quali note l'ascoltatore "sentisse" l'accentuazione forte: infatti solo due soggetti hanno battuto il tempo in maniera imprecisa ed ambigua.

5) Risultati e conclusioni

Il primo dato che appare ad un'analisi generale delle prove effettuate è la tendenza comune a molti degli interpellati a battere solo sulle note gravi o solo sulle note acute. Scopo dei primi tre brani UGUA, SGSA, CGCA è proprio quello di indagare preliminarmente, soggetto per soggetto, su tale tendenza prima di proporre gli elementi uniformità, struttura e casualità in competizione fra loro. Abbiamo interpretato i risultati di questa prova nel modo seguente: la contrapposizione grave-acuto fra la sequenza delle note pari e quella delle note dispari non solo facilita ma influenza la selezione di una delle sequenze stesse, giungendo ad inibire, in molti casi, la capacità di scelta basata sull'altra contrapposizione, di

nostro interesse: 'uniformita'-struttura-casualita'. Per studiare le scelte relative a quest'ultima contrapposizione, e' necessario dunque osservare gli scostamenti dai due comportamenti "regolari": "tempo battuto esclusivamente sui gravi" e "tempo battuto esclusivamente sugli acuti". Abbiamo cioe' diviso il campione di ascoltatori in due gruppi: i "battitori gravi" e i "battitori acuti" e osservato per quali brani un battitore grave batteva sulle note acute, e viceversa. I dati ricavati sono riassunti nel seguente diagramma :

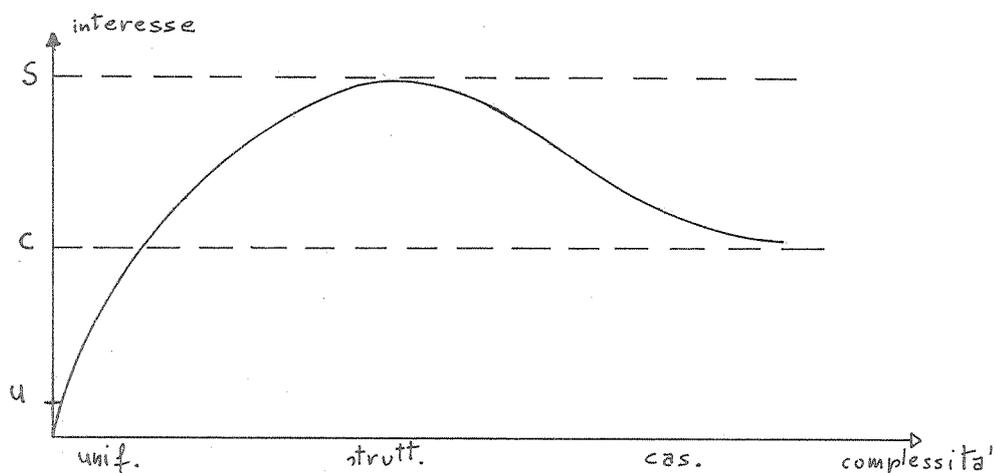
U=Uniformita'
 S=Struttura
 C=Casualita'



Interpretazione:

nei brani che contrappongono U ed S, gli scostamenti dal comportamento "regolare" (solo grave, solo acuto) hanno favorito in 9 casi la S rispetto alla U, e soltanto in 2 casi la U rispetto alla S, e cosi' via. La freccia dunque va dall'elemento scelto, cioe' ritenuto piu' interessante, a quello meno interessante. Risulta evidente dal diagramma presentato il minor interesse suscitato da U rispetto ad S e C, ma fra questi ultimi due elementi sembra difficile stabilire una priorita'.

L'ipotesi che ha tacitamente accompagnato questa ricerca e' che fosse possibile giungere ad assegnare in ordine di "interesse", pur senza pretendere di formulare una regola generale, il primo posto ad S, il secondo a C ed il terzo ad U. Si puo' giustificare tale graduatoria supponendo che l'interesse vari in funzione della "complessita'" con l'andamento descritto nel grafico che segue (e che commentiamo a conclusione di questo scritto)



Come gia' esposto, per la misura della variabile interesse abbiamo assunto il numero di persone che ha effettuato una determinata scelta, e per la misura della complessita' abbiamo assunto la lunghezza del periodo T, ovvero il numero di note che costituiscono la frase elementare ripetuta nei brani. Lo spoglio dei soli dati riguardanti i "battitori acuti" sembrava confermare la gerarchia S-C-U; assumendo quest'ordine come valido, ci si poteva aspettare che gli scostamenti dal comportamento "battere sugli acuti" fossero piu' probabili nei tre casi indicati dalla freccia, nella tabella che segue, che sono coerenti con la gerarchia citata. Le stelle indicate rappresentano la distribuzione di tali scostamenti per il campione di ascoltatori esaminato.

Distribuzione degli scostamenti dal comportamento regolare
(per i battitori acuti):

+UG	SA
++++++SG	UA
+UG	CA
++++++CG	UA
++++++SG	CA
++CG	SA

Nei dati riguardanti i "battitori gravi", pero', gli scostamenti dal comportamento atteso risultano meno significativi, e, se non contraddicono la gerarchia proposta, pure non la confermano. Osserviamo, per concludere, che l'andamento del grafico qualitativo proposto in Fig. 2 potrebbe essere grosso modo cosi' interpretato: ad un aumento della complessita' di sequenze melodiche corrisponde un aumento dell'interesse suscitato fino a un punto oltre il quale il processo si inverte; oltre una certa soglia di complessita', cioe', ed avvicinandosi alla casualita', l'ascoltatore non e' piu' in grado di seguire (analizzare) i brani che gli vengono proposti e perde interesse nell'ascolto. Sarebbe tuttavia privo di senso approfondire queste considerazioni senza aver fornito al grafico proposto un solido fondamento sperimentale: riteniamo che cio' possa avvenire definendo in altri modi i concetti di uniformita', struttura e casualita' cioe' la variabile complessita', ed escogitando nuove esperienze.

PERCEZIONE DELLE ARMONICHE

Generalita'

Il TAU2 dispone di 255 frequenze la cui distanza minima e' $1/3$ di semitono. Nell'effettuare la sintesi di una timbrica, una frequenza fondamentale f_0 e le sue prime 6 armoniche superiori vengono prelevate dall'insieme delle frequenze disponibili: la 3a, 5a e 7a armonica, quindi, anziche' i valori $3f_0$, $5f_0$, $7f_0$, assumono il valore della piu' vicina frequenza disponibile. Le intensita' delle componenti di un suono possono variare in modo discreto e con differenze piuttosto notevoli, come risulta dalle tavole seguenti.

Regolazione dell'ampiezza
del segnale d'uscita di un canale

Livello ampiezza	Valori in dB
15	0
14	- 3
13	- 6
12	- 9
11	-12
10	-15
9	-18
8	-19,5
7	-21
6	-22,5
5	-24
4	-25,5
3	-27
2	-28,5
1	-29
0	-60

Regolazione
delle ampiezze delle armoniche

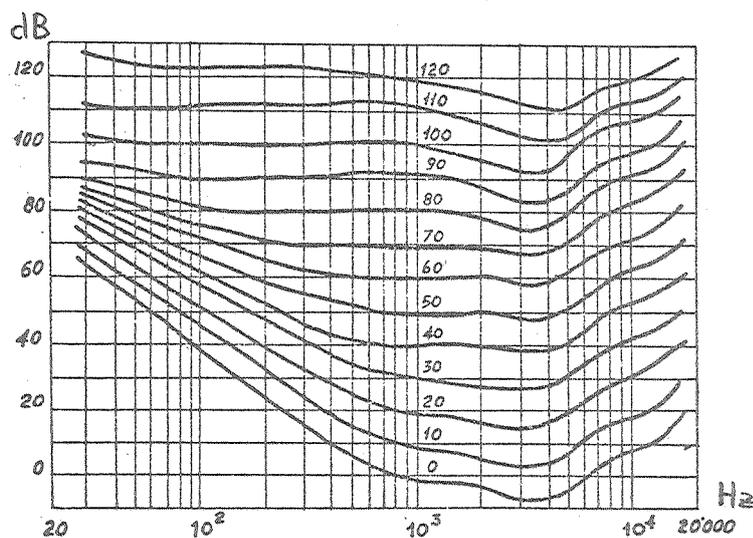
Livello Armonica i	Valori in dB
7	0
6	- 6
5	-12
4	-18
3	-21
2	-24
1	-27
0	-60

Il proposito di quest'ultima parte del lavoro e' quello di

valutare, anche se in prima approssimazione, quali combinazioni di armoniche effettuate nelle condizioni sopra descritte vengano percepite come note con particolare timbro e quali debbano essere le variazioni delle formanti perche' producano differenti sensazioni all'ascolto.

Caratteristiche dei tests.

Se consideriamo le curve di Fletcher-Munson qui riportate



vediamo che la risposta dell'orecchio e' approssimativamente lineare solo nella parte racchiusa nel tratteggio. Si e' ritenuto opportuno, quindi, agire in questa zona utilizzando una fondamentale di circa 200 Hz, la cui 6a armonica superiore e' a circa 1400 Hz, ed effettuando l'ascolto ad un volume assai alto (come termine di raffronto si pensi che il livello del bisbiglio e' sui 20 dB).

Nell'analisi dei risultati nessuna suddivisione e' stata fatta dell'uditorio (25 persone), neppure in base alle eventuali competenze musicali.

Così' ci si aspettava un 'rumore' notevole dovuto a vari

fattori quali:

- 1) errori dovuti alla posizione dell'ascoltatore rispetto alle onde stazionarie nella stanza;
 - 2) errori, piu' frequenti di quanto non si presuma, dovuti al fatto che talora l'ascoltatore si impegna a rilevare differenze anche laddove esse non esistono;
 - 3) errori che sono dovuti alla riverberazione del locale di ascolto e che hanno il peso maggiore nel determinare le deviazioni dai valori aspettati. Infatti se si considerano ancora le curve di Fletcher-Munson si vede che al suono riverberato, assai piu' debole dell'originale, corrisponde uno spostamento dalle curve alte, lineari nella zona detta sopra, a quelle basse, dove la sensibilita' per la 7a armonica, ad esempio, e' di 15/20 dB superiore a quella per la fondamentale.
- L'ascoltatore, di conseguenza, ha la possibilita' di percepire la presenza delle armoniche piu' alte proprio e solo durante il tempo di riverberazione, dal momento che quest'ultima restituisce, del suono, una immagine acustica molto diversa dalla sorgente reale.

Risultati

Di seguito vengono dati alcuni esempi di prove ed alcune deduzioni fatte. Gli esperimenti miravano a determinare il livello al quale vengono percepite le armoniche rispetto al livello 0, e consistevano quindi nel fare ascoltare alternatamente una data combinazione ed altre in cui una armonica crescesse intensita', come nel seguente esempio relativo alla 3a armonica:

a) {	5 7 0 0 3 2 1	b) {	5 7 0 0 3 2 1
	5 7 1 0 3 2 1		5 7 2 0 3 2 1
c) {	5 7 0 0 3 2 1	d) {	5 7 0 0 3 2 1
	5 7 0 0 3 2 1		5 7 3 0 3 2 1
e) {	5 7 0 0 3 2 1	
	5 7 4 0 3 2 1	

Si noti che una coppia del tipo indicato con 'c', a variazione nulla, veniva introdotta in uno dei primi posti, in modo di evidenziare l'eventuale presenza di errori del tipo 2) di pagina precedente e da fornire anche un'indicazione rappresentativa del 'rumore' presente nella prova.

La successione c), d), che e' in pratica un corto circuito fra le sottoprove a) e d), assieme al valore asintotico della percentuale di percezione, danno invece anche una idea sulle memorizzazioni della variazione, in luogo dell'originale, da parte dell'ascoltatore; questa valutazione va fatta, e' chiaro, non su una prova singola, ma su piu' prove dello stesso tipo.

In sintesi:

1) Rapporti con le armoniche inferiori:

- a) quale che sia il numero di armoniche, si e' gia' in zona asintotica (prove 7-19-87)
- b) la minore percentuale rilevata rispetto alla fondamentale (prove 7-13-19-44-87) e' in relazione al noto effetto di 'masking' della fondamentale.
- c) e' visibile l'importanza della distanza fra le armoniche (prove 10-11-12)

2) Rapporti con le superiori:

- a) indipendentemente dal numero di armoniche, l'aumento e' lineare (prove 15-16-42-45-88)
- b) e' visibile anche qui l'influenza della distanza (prove 22-24-47-49)

3) Crescere o decrescere in figure complesse:

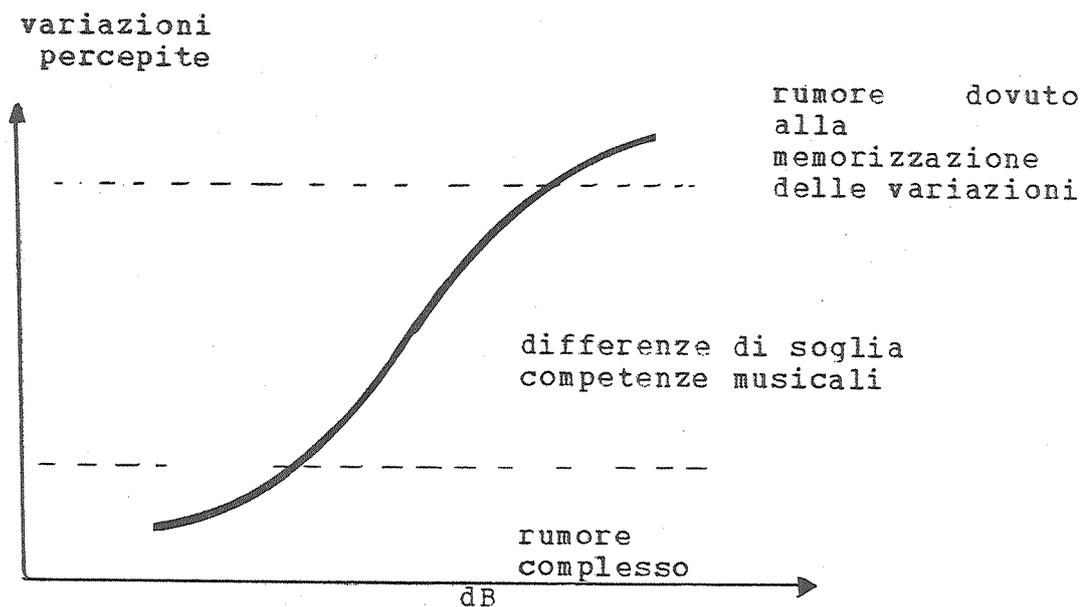
- a) viene percepito piu' chiaramente il crescere che non il diminuire di una componente (prove 113-114)
- b) le variazioni di armoniche con valore (massimo-2) vengono percepite con difficolta'

4) Considerazioni generali sui risultati

La percezione di una variazione sonora e' legata a motivi di varia natura che, esclusa evidentemente almeno la variabilita' della soglia uditiva individuale, provocano effetti non sempre ripetibili. Tuttavia si noti che le variazioni dell'intensita' delle armoniche sono rilevanti,

nel TAU2, regolate come sono ad un minimo di 3 dB; sicche' non e' arbitrario pensare che per un soggetto e per vari ascolti successivi la curva di risposta debba essere costante e del tipo ideale a gradino. Per un gruppo di piu' persone ci si puo' attendere una deviazione da tale curva dovuta sia alla differenza di competenze musicali, che si traduce in maggiore abilita' nell'isolare e riconoscere una data armonica, sia alle differenze di soglia, come anche ai motivi accidentali di cui si e' parlato sopra.

In sostanza, sulla base dei grafici precedenti, si suggerisce la curva generale riportata piu' sotto, con le giustificazioni indicate:

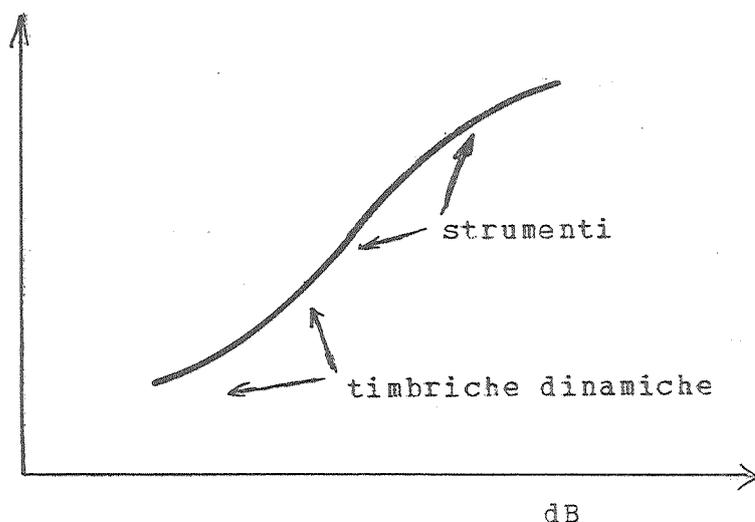


5) Conclusioni

Ad un programma che voglia gestire automaticamente l'uso di timbriche si possono affidare due mansioni differenti:

- elaborazione di una sequenza di timbriche per la modulazione dinamica di una singola nota
- elaborazione di figure timbriche chiaramente distinguibili ('strumenti')

E' evidente che, fatti i conti con i tempi di elaborazione da parte della macchina e con quelli di reazione dell'ascoltatore, sembra opportuno dividere le zone di intervento come in figura:



E' molto importante avere a disposizione, per ogni armonica, la zona di 'timbrica dinamica' in quanto la variabilita' nel tempo dello spettro di una data nota e' determinante nel conferire quel carattere strumentale o 'naturale' dei suoni che li differenzia da quelli degli organi elettronici.

D'altra parte se, come si e' visto, per le armoniche alte e

per spettri semplici i livelli in uso sembrano eccessivi, essi appaiono adeguati qualora si passi a figure spettrali piu' complesse; e dato che la tecnica in uso non consente variazioni cosi' ampie da contemplare ambedue le possibilita', sara' opportuno valutare, armonica per armonica, la migliore collocazione nell'ambito della dinamica a disposizione.

Algoritmi per la generazione automatica

In relazione alle caratteristiche del TAU2 e attribuendo in prima approssimazione al livello (massimo-2) una particolare importanza quale limite di percettibilita' in timbri complessi, sono di seguito dati due algoritmi nei quali vengono impiegati i seguenti vettori di dimensione 7:

T0 timbro 'strumentale'

TIST timbro all'istante

L1 logico : e' 1 se almeno tre componenti di T0 sono >

LPOS logico: e' 1 per le armoniche di ordine superiore alla prima massima

LI logico: e' 1 se T0 ha piu' di 2 componenti non nulle

LI2 logico: e' 1 per le armoniche di valore compreso fra 0 e (massimo-2)

LRANGE logico: e' 1 se tutte le componenti di TIST sono comprese fra 0 e (massimo-2)

F3 valori interi random fra -1 e +1

F6 valori interi random fra 1 e 6

R46 valori interi casuali fra 4 e 6

T timbro corrente

Per la generazione di 'strumenti':

-se non ci sono almeno 3 armoniche di intensita' ≥ 5 ,
sono valide tutte le combinazioni con ripetizione di
numeri da 1 a 6 (e' meglio evitare per motivi di hard le
combinazioni con piu' 7)

-se no, i nuovi valori delle componenti di valore ≤ 5
hanno significato solo se poste fra 4 e 6.

In forma compatta:

$$T = (\overline{L1} \times R6) + L1 \times (\overline{LI2} \times R6 + LI2 \times R46)$$

Per le variazioni dinamiche del timbro di una nota

-conviene considerare solo le armoniche di intensita' \leq
(massimo-2)

-se l' armonica e' inferiore alla prima massima o se le
componenti sono meno di 3 il valore dello 'strumento'
puo' variare solo di ± 1

-se no, vale, per ogni armonica interessata, ogni
successione casuale di interi compresi fra 1 e
(massimo-2), con incrementi interi tra -1 e +1.

In forma compatta:

$$T = (\overline{LI2} \times T0) + LI2 \times ((LPOS \times LI) \times (TIST + LRANGE \times R3) + (\overline{LPOS} + \overline{LI}) \times (T0 + R3))$$

BIBLIOGRAFIA

- 1) Tarabella, L. "Applicazioni delle Catene di Markov"
Pubbl. CNUCE-CNR n.55
- 2) Xenakis, I. "Musiques Formelles" , Richard-Masse
- 3) Attneave, F. "Processi compositivi stocastici" da
"Estetica e teoria dell'Informazione" di
AA.VV., Bompiani
- 4) Perkins, D.N. e Howard, V.A. "Toward a notation for
rhythm perception" , Interface 5, 1976
- 5) Grossi, P "Modalita' operative del TAUMUS, software di
gestione del terminale audio TAU2" Pubbl. CNUCE-CNR
n.120
- 6) Stamback, M. "Enfance" 1951
- 7) Bertoni-Haus-Mauri-Torelli "Compattazione di strutture
informative nella descrizione di processi musicali"
Congresso A.I.C.A. ottobre 1976 .