

La Segmentazione

*Corso di Informatica Applicata alla
Musica*

Sommario

- INTRODUZIONE
- OPERATORI RITMICI
- OPERATORI MELODICI
 - TRASPOSIZIONE
 - INVERSIONE SPECULARE
 - RETROGRADAZIONE
 - IL RICONOSCIMENTO DELLA PRESENZA DI OPERATORI MELODICI NELLE PARTITURE
 - COMPOSIZIONE DI OPERATORI MELODICI
 - COMPLESSITA'
- OPERATORI ARMONICI
 - LA VERTICALIZZAZIONE
 - L'OPERATORE DI RICONOSCIMENTO FUNZIONE TONALE (RFT)
 - L'OPERATORE CADENZA ARMONICA (CA)
 - L'OPERATORE RIDONDANZA ARMONICA(RA)
 - LE COMBINAZIONI DI OPERATORI UTILIZZATE
 - I PARAMETRI DEL SISTEMA
 - LA SUPERFICIE RITMICO-MELODICA
 - LA SUPERFICIE ARMONICA
 - VALORI STANDARD
- UN ESEMPIO: IL TEMA DELLA SINFONIA K40 DI W.A.MOZART

Introduzione

- Diversi approcci
 - Aspetti percettivi quali variazione di dinamica, di metrica, silenzi ricavabili dal formato di segnale.
 - Segmentazione di Partitura
 - Oggetto Musicale: qualsiasi tipo di informazione strutturata del linguaggio musicale
 - Variazione del flusso di informazione veicolato dal brano

Introduzione

- Problematiche
 - Non perfetta categoricità delle norme che definiscono il valore semantico delle espressioni.
 - Presenza di casi singolari di non aderenza alla teoria.
 - Sintassi pluridimensionale in cui vi è coesistenza di ritmo, melodia e armonia.
 - Evoluzione storica delle regole di composizione.

Gli Operatori Musicali

- Ripetizione di pattern ritmici e melodici
- Introduzione di Trasposizione, Retrogradazione ed Inversione Speculare
- Analisi Shenkeriana: *individuare precise zone di importanza tematica e discernere le note importanti da quelle ornamentali o secondarie*
- Introduzione di analisi armonica
- Interazione tra gli operatori musicali

Operatori Ritmici

- Assegnazione degli accenti in base alla durata ed alla metrica



- Casi particolari



Operatori Ritmici

- Sequenze di accenti

$$D1 = \langle X1, X2, X3, X4, X5, \dots, Xn \rangle$$

$$D2 = \langle Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, \dots, Yn \rangle$$

- Vettore d'errore E che riporta un valore nullo dove gli elementi di $D1$ e $D2$ coincidono ed un valore unitario dove essi differiscono.
- Somiglianza $1 - |E| / n$

Operatori Ritmici

Esempio: indicando con F l'accento forte e con D quello debole e date le sequenze di accenti

$$D1 = \langle F, F, D, F, D \rangle$$

$$D2 = \langle F, D, F, D, D \rangle$$

si ottiene il vettore d'errore $E = \langle 0, 1, 1, 1, 0 \rangle$

da cui un indice di somiglianza pari a $1 - 3/5 = 0,4$

Operatori Ritmici

- Sequenze di durate
 $L1 = \langle X1, X2, X3, X4, X5, \dots, Xn \rangle$
 $L2 = \langle Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, \dots, Yn \rangle$
- 2 vettori d'errore E tra $L1$ e $L2$: normale e retrograda.
- Somiglianza $1 - |E| / n$

Operatori Ritmici

Eempio:



$$L1 = \langle 1/8, 1/8, 1/8, 1/8, 1/8, 1/8, 1/8, 1/8, 1/4 \rangle$$

$$L2 = \langle 3/16, 1/16, 1/8, 1/8, 1/8, 1/8, 1/8, 1/8, 1/4 \rangle$$

$$L3 = \langle 1/4, 1/8, 1/8, 1/8, 1/8, 1/8, 1/8, 3/16, 1/16 \rangle$$

primo con il secondo in forma non retrograda

$$E12 = \langle 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 \rangle \text{ somiglianza pari a } 1 - 2/9 = 0,78$$

primo con il terzo in forma retrograda

$$E13 = \langle 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 \rangle \text{ somiglianza pari a } 0,78$$

secondo con il terzo in forma non retrograda

$$E23 = \langle 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1 \rangle \text{ somiglianza pari a } 1 - 4/9 = 0,56$$

Operatore Ritmico Strutturale

- Unificazione degli operatori precedenti escludendo il caso retrogrado.
- Si accoppiano gli elementi dei vettori

Date le sequenze di note da confrontare $S1$ ed $S2$, si ricavano le corrispondenti sequenze di coppie (*accento, durata*)

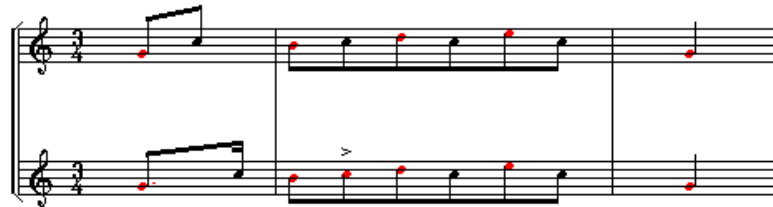
$$DL1 = \langle (D11, L11), (D12, L12), \dots, (D1n, L1n) \rangle$$

$$DL2 = \langle (D21, L21), (D22, L22), \dots, (D2n, L2n) \rangle$$

Il vettore d'errore E sarà dato dalla somma degli errori riscontrati per ogni coppia, ossia un punto se l'accento non coincide e un altro punto se la durata non coincide.

Operatore Ritmico Strutturale

Esempio:



Considerando l'esempio in figura 5 (in cui la quarta nota del secondo rigo è stata forzata ad avere accento forte) si ottiene

$$DL1 = \langle (F,1/8), (D,1/8), (F,1/8), (D,1/8), (F,1/8), (D,1/8), (F,1/8), (D,1/8), (F,1/4) \rangle$$

$$DL2 = \langle (F,3/16), (D,1/16), (F,1/8), (F,1/8), (F,1/8), (D,1/8), (F,1/8), (D,1/8), (F,1/4) \rangle$$

e da esse il seguente vettore d'errore

$$E = \langle 0+1, 0+1, 0, 1+0, 0, 0, 0, 0, 0 \rangle$$

cui corrisponde un indice di somiglianza $1 - 3/9 = 0,67$

Operatori Melodici

- Misurazione della distanza fra le note:
 - Cromatica
 - Diatonica
- La stragrande maggioranza degli ascoltatori percepisce il linguaggio musicale principalmente sul movimento melodico e non sulle altezze assolute.

Operatori Melodici

- Caso Reale (assoluto) **Distanza Reale**: numero di semitoni che separa due note

do = 0, re = 2, mi = 4, fa = 5, sol = 7, ecc.

Un intervallo melodico sarà ovviamente la differenza delle due altezze

es. do-mi= $hr(mi)-hr(do)=4-0=4$

dove hr e' la funzione che restituisce l'altezza reale.

- Caso Tonale (relativo alla tonalità) **Distanza Tonale**: numero di gradi che separa le due note sulla scala della tonalità corrente

do = 0, re = 1, mi = 2, fa = 3, sol = 4, ecc.

Operatori Melodici: Trasposizione

Si indica con T_x l'operatore di trasposizione di grado x su Σ così definito:

$$T_x(h) = h + x$$

e lo si estende all'insieme di parole generate su Σ nel seguente modo:

$$T_x(hw) = T_x(h)T_x(w)$$

Siano ad esempio, 1, 2, 3, 4, 5 simboli dell'alfabeto Σ , applicando alla sequenza "1 2 3 4" una trasposizione di primo grado otterremo:

$$T_1(1234) = T_1(1)T_1(234) = \dots = T_1(1)T_1(2)T_1(3)T_1(4) = 2345$$

Un caso particolare di questo operatore è T_0 (trasposizione di grado 0) che traspone ogni simbolo dell'alfabeto in se stesso, cioè: $T_0(h) = h$.

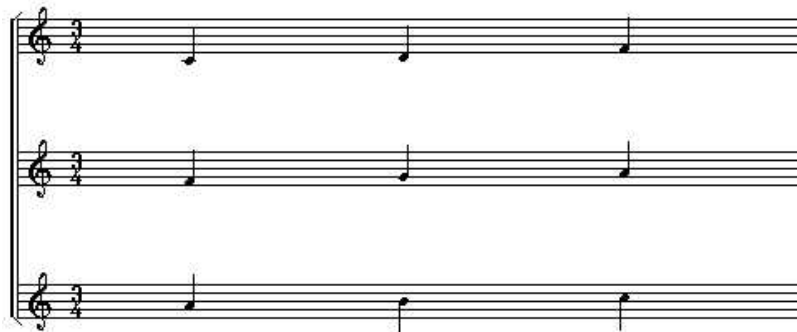
Operatori Melodici: Trasposizione

Caso Reale
Modulante



la distanza fra una nota e la successiva è la stessa in entrambe i casi
calcolata in semitoni: 2-2-1-2-2-2-1

Caso Tonale



gli intervalli del primo rigo, espressi in semitoni, sono 2,2
per il secondo ancora 2,2 e per il terzo sono 2,1

Operatori Melodici: Inversione Speculare

Si dice operatore di **inversione speculare** su Σ rispetto ad i e si indica con Ii un operatore così definito:

$$Ii(h) = i - (h - i) = 2i - h$$

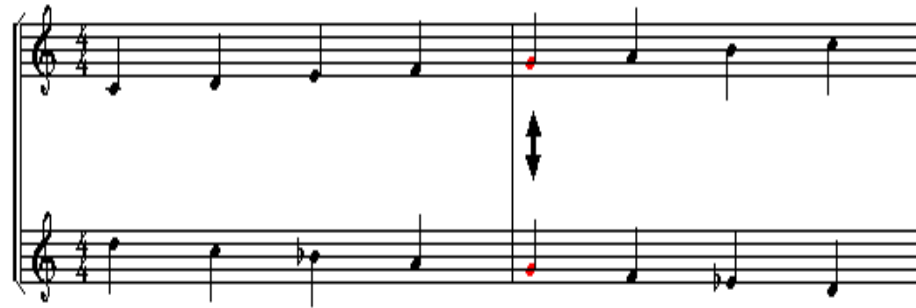
Anche in questo caso estenderemo tale operatore alle parole generate su Σ nel seguente modo:

$$Ii(hw) = Ii(h)Ii(w)$$

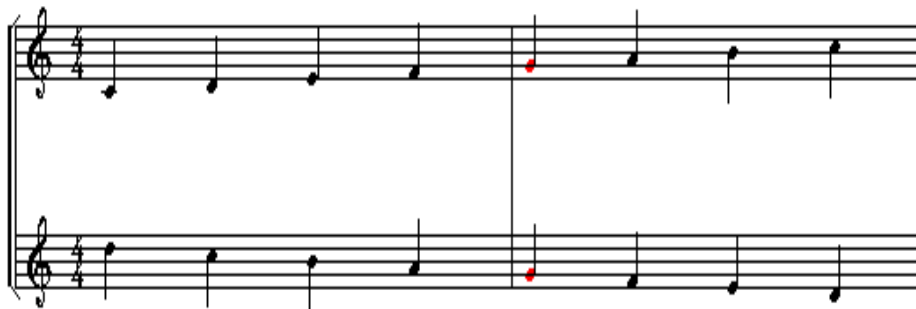
L'operatore di inversione speculare inverte quindi il valore del parametro passatogli come argomento in modo simmetrico rispetto ad un asse di simmetria (o nota di riferimento) indicato dall'indice i .

Operatori Melodici: Inversione Speculare

Caso Reale



Caso Tonale



Nota: implicita trasposizione delle singole note

Operatori Melodici: Retrogradazione

Si definisce operatore di Retrogradazione su Σ e lo si indica con R un operatore così definito:

$$R(h)=h$$

$$R(wh)=hR(w)$$

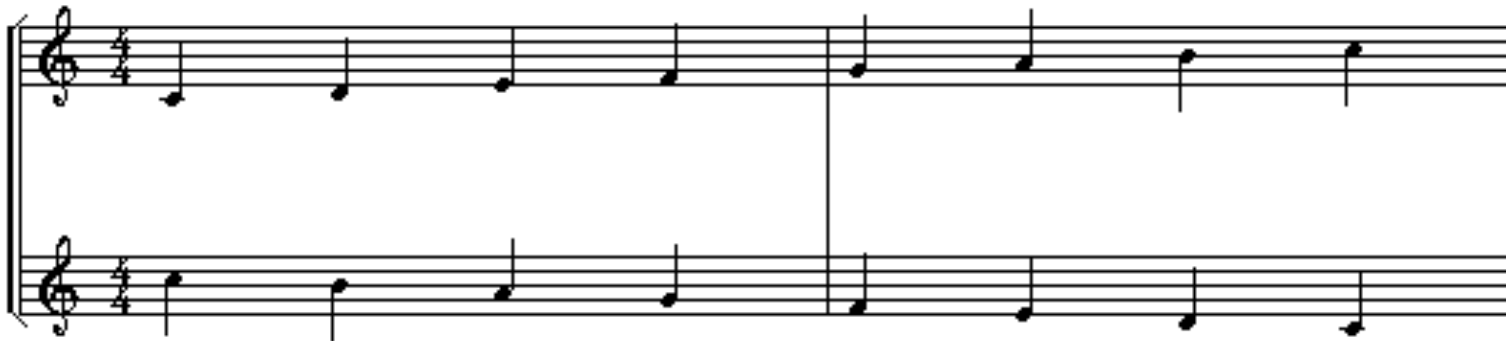
L'operatore di retrogradazione non agisce sull'altezza delle note ma sull'ordinamento degli elementi che costituiscono una sequenza.

Ad esempio, siano 1, 2, 3, 4 simboli dell'alfabeto Σ , avremo:

$$R(1234) = 4 \quad R(123) = 43 \quad R(12) = 432 \quad R(1) = 4321$$

Operatori Melodici: Retrogradazione

Non c'è differenza tra caso reale e caso tonale



Operatori Melodici: Riconoscimento

- Partendo da un frammento melodico di n note, si costruisce un Vettore Caratteristico di $n-1$ posizioni, in cui sono elencate le distanze (reali o tanli) tra due note vicine
- Distanza tra due melodie si misura secondo la metrica introdotta dall'operatore in considerazione

Operatori Melodici: Riconoscimento

- Trasposizione: sottrazione fra elementi

Vettore caratteristico (reale)

V1 <2,2,1,2,2,2,1>

V2=<2,2,1,2,2,2,1>



$$E = V1 - V2 = \langle 0,0,0,0,0,0,0 \rangle = 0$$

Il confronto ha riconosciuto perfettamente la trasposizione

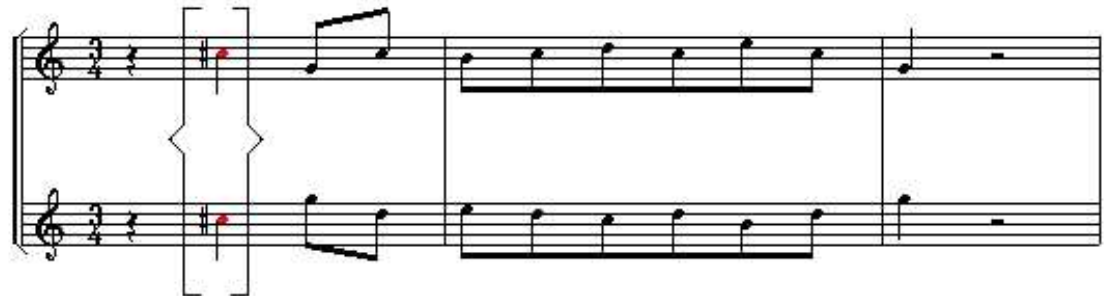
Operatori Melodici: Riconoscimento

- Inversione: somma fra elementi

Vettore caratteristico (reale)

$$V1 = \langle 3, -1, 1, 1, -1, 2, -2, -3 \rangle$$

$$V2 = \langle -3, 1, -1, -1, 1, -2, 2, 3 \rangle$$



$$E = V1 + V2 = \langle 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 \rangle$$

Il confronto ha riconosciuto perfettamente la trasposizione

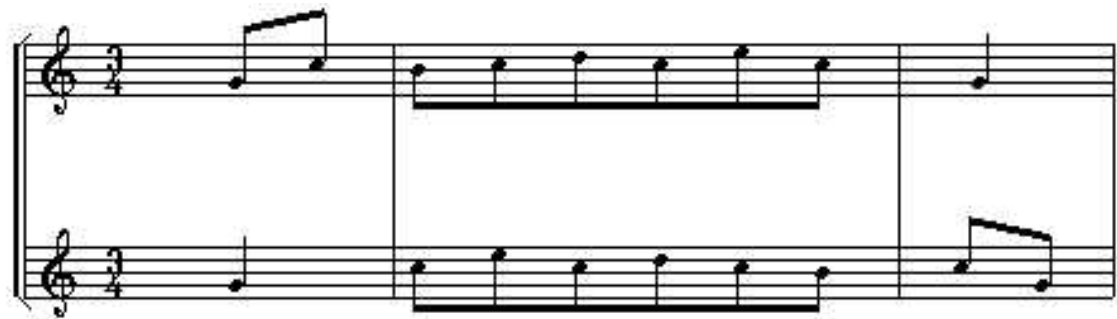
Operatori Melodici: Riconoscimento

- Retrogradazione: somma fra elementi opposti

Vettore caratteristico (reale)

$$V1 = \langle 3, -1, 1, 1, -1, 2, -2, -3 \rangle$$

$$V2 = \langle 3, 2, -2, 1, -1, -1, 1, -3 \rangle$$



$$E = V1 + R(V2) = \langle 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 \rangle$$

Nota: la retrogradazione inverte il segno degli intervalli

Operatori Melodici: Composizione

- Si indica con \bullet .

Esempio: $s' = I[T(s)] = I \bullet T(s)$

- La composizione tra operatori gode della proprieta' di simmetria:
 - se X e Y sono due operatori qualsiasi, vale $X \bullet Y = Y \bullet X$.

Operatori Melodici: Composizione

- La composizione della trasposizione e dell'inversione si denota come segue:

$$T \cdot I$$

- Si dimostra che esso gode delle stesse proprietà della inversione:

Sia $x \in \Sigma$,

l'inversione speculare di x rispetto all'asse di simmetria i è data

$$Ii(x) = 2i - x$$

e la sua traslazione di grado t

$$Tt[Ii(x)] = Ii(x) + t = 2i - x + t$$

ossia

$$Tt[Ii(x)] = 2i - x + t = 2(i + \frac{1}{2}t) - x = I(i + \frac{1}{2}t)(x)$$

Operatori Melodici: Composizione

- La composizione della trasposizione e della retrogradazione si denota come segue:

$$T \cdot R$$

- Equivalente alla sola retrogradazione

Operatori Melodici: Composizione

- La composizione della trasposizione, della retrogradazione e dell'inversione si denota come segue:

T•R•I

- Diverso modo di costruzione del vettore E
 - Elisione delle inversioni di segno
 - Sottrazione della retrogradazione degli elementi antagonisti.

Operatori Melodici: Complessità

- Confronto totale: ogni frammento melodico viene confrontato con tutti gli altri di ugual lunghezza, per ogni possibile lunghezza accettabile.
- Complessità in tempo $O(N^2) M$, con:
 - N numero medio di note per parte (staff)
 - M numero di parti reali presenti nella partitura

Operatori Armonici

- Località delle soluzioni
- Cognizione strutturale di metalinguaggio musicale
- Melodia: visione del dettaglio, approccio Top-Down
- Armonia: astrazione, approccio Bottom-Up

L'armonia è scarsamente sensibile alla
variazione melodica

Operatori Armonici: la Verticalizzazione

- Localizzazione temporale dell'evento sonoro
- Eliminazione delle ottave sovrapposte (modulo 7 sui gradi)

Si definisce operatore di verticalizzazione e lo si indica con V : $\Sigma \rightarrow P(\Sigma)$ un operatore così definito:

$$V_T(h): A_T = A_T \cup \{h\} \text{ se } T(h) \equiv T$$

$$V_T(h): I(A_T) \text{ altrimenti}$$

Operatori Armonici: la Verticalizzazione



$V_1(): A_1 = \{mi, sol, si\}$	(= Mi bemolle maggiore)
$V_2(): A_2 = \{mi, sol, si\}$	(= Mi bemolle maggiore)
$V_3(): A_3 = \{re, fa, si\}$	(= Si bemolle maggiore)
$V_4(): A_4 = \{reb, mi, sol, si\}$	(= Mi bemolle maggiore con settima di dominante))
$V_5(): A_5 = \{do, mi, la\}$	(= La bemolle maggiore)

$$A_1 = \{2, 4, 6\} \quad A_2 = \{2, 4, 6\} \quad A_3 = \{1, 3, 6\} \quad A_4 = \{1, 2, 4, 6\} \quad A_5 = \{0, 2, 5\}$$

Operatori Armonici: la Verticalizzazione



$V1(): A1 = \{si, re, fa\}$

$V2(): A2 = \{do, mi, fa, si\}$

$V3(): A3 = \{re, fa, si\}$

$V4(): A3 = \{re, si\}$

$V5(): A5 = \{mi, sol, si\}$

$V6(): A6 = \{mi, la, do\}$

Operatori Armonici: Riconoscimento Funzione Tonale

- Interpretazione del grado su cui è costruito l'accordo

Si definisce operatore di riconoscimento funzione tonale e lo si indica con $RFT: P(\Sigma) \rightarrow \{T, D, SD, 0\}$ un operatore così definito:

$RFT(A) = T$ se A è accordo di Tonica (cioè costruito sul I o VI Grado)

$$RFT(A) = D$$

se A è accordo di Dominante (cioè costruito sul V o VII Grado)

$$RFT(A) = SD$$

se A è accordo di Sottodominante (cioè costruito sul II o IV Grado)

$$RFT(A) = 0 \quad \text{altrimenti (Caso indefinito)}$$

Operatori Armonici: Riconoscimento Funzione Tonale

- Il lavoro dell'operatore RFT consiste nell'ordinare i gradi presenti nell'accordo in modo che ad un grado ben definito, che verrà riconosciuto come *Basso Armonico*, segua un intervallo dispari, cioè di terza, o almeno di quinta.
- Nel caso questo non sia possibile, l'accordo verrà riconosciuto come meno stabile, e si accetteranno intervalli via via più dissonanti secondo le regole dell'armonia tonale, quindi di sesta, di quarta ed infine di settima e di nona.
- Scopo di questa ricerca non è l'acquisizione del basso armonico, ma della fondamentale dell'accordo, cioè del grado su cui, per terze, si è costruito l'accordo.


Operatori Armonici: Riconoscimento Funzione Tonale

- Riconoscimento delle note rispetto al basso
 - Caso di 4 Note
 - Caso di 3 Note
 - Caso di 2 Note
 - Caso Degenero 1 nota
- Relazione rispetto alla tonalità di impianto
- Collassamento nelle classi T, D, SD

Operatori Armonici: Riconoscimento Funzione Tonale

- Caso 3 Note

1)



F
Stato fondamentale

2)



Stato di primo rivolto

3)



Stato di secondo rivolto

Operatori Armonici: Cadenza Armonica

- Riconoscimento di Cadenze Armoniche

Data la sequenza di accordi $A1, A2, A3, \dots, Am$ elementi di $P(\Sigma)$

$$CA(Ai, Ai+1, Ai+2, Ai+3, \dots, An) = CA(Ai, An)$$

Abbiamo il seguente caso base:

$$CA(Ai, An) = CAInizio(Ai) \cdot CAFine(An)$$

Con:

$$CAInizio(Ai) = (RFT(Ai)=T) \vee (RFT(Ai)=D) \vee CAFine(Ai-1)$$

$$CAFine(An) = (RFT(An)=T) \vee (RFT(An)=D)$$

Operatori Armonici: Ridondanza Armonica

- Riconoscimento di Ripetizioni Armoniche
- Analogo dell'Operatore Melodico
Trasposizione nel caso base $n=0$
- Confronto non esatto
- Vincoli di lunghezza
- Costo quadratico
- Complessità minore rispetto all'operatore melodico.

Operatori Armonici: Composizione

$CA (A_i, A_{i+1}, A_{i+2}, A_{i+3}, \dots, A_{i+M})$

$RA (A_i, A_{i+1}, A_{i+2}, A_{i+3}, \dots, A_{i+M})$

$RA (CA (A_i, A_{i+1}, A_{i+2}, A_{i+3}, \dots, A_{i+M}))$

$MEL.OP.(CA (A_i, A_{i+1}, A_{i+2}, A_{i+3}, \dots, A_{i+M}))$

$MEL.OP.(RA (A_i, A_{i+1}, A_{i+2}, A_{i+3}, \dots, A_{i+M}))$

$MEL.OP.(RA (CA (A_i, A_{i+1}, A_{i+2}, A_{i+3}, \dots, A_{i+M})))$

Con *MEL.OP.* si intende l'applicazione di qualsiasi
combinazione di operatori melodici.

Segmentazione

- Esempio: tema della sinfonia k40 di W.A.Mozart

1

5

7

10

13

17

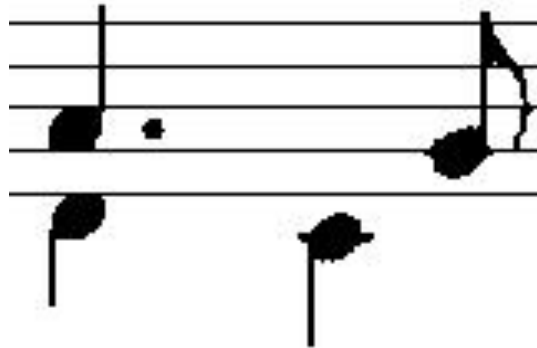
Segmentazione


- Esempio: tema della sinfonia k40 di W.A.Mozart

```
METRO ARMONICO : 1/2 -----  
Armonia 0 Battuta 1 Durata= 1/1 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 1 -- RIVOLTO 35  
Armonia 1 Battuta 2 Durata= 1/2 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 6 -- RIVOLTO 35  
Armonia 2 Battuta 2 Durata= 1/2 Inizio a 1/2ANALISI : GRADO 1 -- RIVOLTO 35  
Armonia 3 Battuta 3 Durata= 1/1 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 6 -- RIVOLTO 35  
Armonia 4 Battuta 4 Durata= 1/1 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 1 -- RIVOLTO 35  
Armonia 5 Battuta 5 Durata= 5/8 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 2 -- RIVOLTO 46  
Armonia 6 Battuta 5 Durata= 3/8 Inizio a 5/8ANALISI : GRADO 7 -- RIVOLTO 46  
Armonia 7 Battuta 6 Durata= 3/4 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 2 -- RIVOLTO 46  
Armonia 8 Battuta 6 Durata= 1/4 Inizio a 3/4ANALISI : GRADO 3 -- RIVOLTO 35  
Armonia 9 Battuta 7 Durata= 7/8 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 3 -- RIVOLTO 56  
Armonia 10 Battuta 7 Durata= 1/8 Inizio a 7/8ANALISI : GRADO 2 -- RIVOLTO 46  
Armonia 11 Battuta 8 Durata= 7/8 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 3 -- RIVOLTO 35  
Armonia 12 Battuta 8 Durata= 1/8 Inizio a 7/8ANALISI : GRADO 7 -- RIVOLTO 36  
Armonia 13 Battuta 9 Durata= 1/1 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 6 -- RIVOLTO 35  
Armonia 14 Battuta 10 Durata= 1/1 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 5 -- RIVOLTO 34  
Armonia 15 Battuta 11 Durata= 1/2 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 6 -- RIVOLTO 6  
Armonia 16 Battuta 11 Durata= 1/2 Inizio a 1/2ANALISI : GRADO 1 -- RIVOLTO 35  
Armonia 17 Battuta 12 Durata= 1/1 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 5 -- RIVOLTO 34  
Armonia 18 Battuta 13 Durata= 1/2 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 6 -- RIVOLTO 56  
Armonia 19 Battuta 13 Durata= 1/2 Inizio a 1/2ANALISI : GRADO 1 -- RIVOLTO 35  
Armonia 20 Battuta 14 Durata= 1/1 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 4 -- RIVOLTO 35  
Armonia 21 Battuta 15 Durata= 1/1 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 4 -- RIVOLTO 35  
Armonia 22 Battuta 16 Durata= 3/4 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 3 -- RIVOLTO 35  
Armonia 23 Battuta 17 Durata= 1/2 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 3 -- RIVOLTO 1234567  
Armonia 24 Battuta 17 Durata= 1/2 Inizio a 1/2ANALISI : GRADO 2 -- RIVOLTO 56  
Armonia 25 Battuta 18 Durata= 1/2 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 3 -- RIVOLTO 35  
Armonia 26 Battuta 18 Durata= 1/2 Inizio a 1/2ANALISI : GRADO 2 -- RIVOLTO 56  
Armonia 27 Battuta 19 Durata= 5/4 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 1 -- RIVOLTO 36  
Armonia 28 Battuta 20 Durata= 1/2 Inizio a 0/1ANALISI : GRADO 3 -- RIVOLTO 35
```

Segmentazione



- Esempio









 la	
re	do

note inserite

armonia

 la	 la
la	do
re	do

 la	 la	 sol
la	do	do
re	do	do

 la	 la	 sol
la	do	do
re	do	do