

Capitolo 1

Nozioni basilari



Questo capitolo fornisce delle nozioni musicali di base. L'obiettivo è quello di fornire le conoscenze minime, a particolare beneficio del lettore non esperto di musica, per poter proseguire con gli argomenti più avanzati. L'esposizione è solo introduttiva e limitata: il lettore interessato può approfondire gli argomenti trattati su libri di teoria e armonia musicale.

1.1 Suoni

Il suono è ciò che percepisce il nostro orecchio come effetto della vibrazione di un corpo in oscillazione. Un corpo in vibrazione produce delle onde sonore che si propagano nell'aria (o in un altro mezzo elastico) raggiungendo l'orecchio. Le onde sonore provocano un cambiamento periodico di pressione sul timpano dell'orecchio; tali cambiamenti di pressione vengono elaborati dal nostro complesso sistema uditivo e interpretati come suoni. La percezione del suono elaborata dal sistema uditivo, è direttamente correlata alla natura delle onde sonore prodotte dalla vibrazione: in funzione delle caratteristiche delle onde sonore percepiamo suoni diversi.

La propagazione delle onde impiega tempo per percorrere la distanza che separa la sorgente sonora dall'orecchio di chi ascolta. La velocità con cui le onde si propagano dipende sia dal mezzo trasmissivo sia da altre condizioni, come ad esempio la temperatura del mezzo trasmissivo. Se il

mezzo trasmissivo è l'aria, la velocità del suono è di circa 343,1 m/s (cioè circa 1235 km/h) ad una temperatura di 20°. A temperature inferiori la velocità è più bassa, ad esempio a 10° è di circa 337,5 m/s (1215 km/h), mentre a temperature superiori è più alta. Come funzione della temperatura, approssimativamente la velocità è pari a $331,3 + 0,6 * t$, dove t è la temperatura misurata in gradi Celsius; quindi la velocità aumenta di 0,6 m/s per ogni aumento di 1 grado di temperatura.

Le principali caratteristiche di un'onda sonora sono la frequenza, che determina l'*altezza* del suono, e l'intensità che determina il *volume* del suono percepito. Un'altra caratteristica importante delle onde sonore è la forma delle onde; la forma delle onde determina il *timbro* del suono: la forma delle onde sonore prodotte da un violino è diversa dalla forma delle onde sonore prodotte da un sassofono.

La frequenza è misurata in Hertz (Hz, cicli per secondo). Il sistema uditivo umano può percepire suoni con frequenze comprese (approssimativamente) fra 17Hz e 17.000Hz. Un pianoforte produce suoni in un intervallo che va approssimativamente da 27 a 4.000 Hz. Suoni al di fuori di questo intervallo sono difficili da distinguere.

L'intensità del suono viene misurata in decibel (dB). In un ambiente estremamente silenzioso (ad es. una biblioteca) l'intensità del suono è di circa 40dB, mentre il limite massimo per il nostro orecchio è di circa 120dB (es. suono prodotto da una navicella spaziale al decollo). L'intensità media del suono prodotto da un pianoforte è di circa 90dB.

1.2 Note

Alcuni suoni sono meno piacevoli di altri. Un suono sgradevole viene chiamato rumore. I suoni più gradevoli all'orecchio umano, per esempio quelli prodotti dagli strumenti musicali, vengono utilizzati per fare musica. Una nota è un suono gradevole con un proprio timbro, una propria altezza e un proprio volume. Inoltre una nota è "posizionata nel tempo", cioè inizia in un determinato istante di tempo e ha una durata che ne determina ovviamente la fine. Le note sono gli elementi di base per la composizione (creazione/costruzione) della musica.

1.2.1 Altezza e frequenza

L'altezza di una nota è quella caratteristica che ci permette di distinguere un suono grave da un suono acuto e come vedremo in seguito è una caratteristica fondamentale per la consonanza di più suoni. L'altezza è determinata dalla frequenza dell'onda sonora che produce la nota. Sebbene ogni frequenza corrisponda a un suono, e quindi a una nota, l'odierno sistema musicale prevede l'utilizzo di un determinato sottoinsieme delle infinite frequenze. La particolare frequenza di 440Hz è associata alla nota La posizionata nella parte centrale del pianoforte, mostrata nella Figura 1.1, e ognuno degli altri 87 tasti corrisponde a una specifica altra frequenza; quindi le note prodotte da un pianoforte corrispondono a 88 specifiche frequenze. Le 88 note sono divise in cosiddette *ottave*, ognuna delle quali raggruppa 12 note.

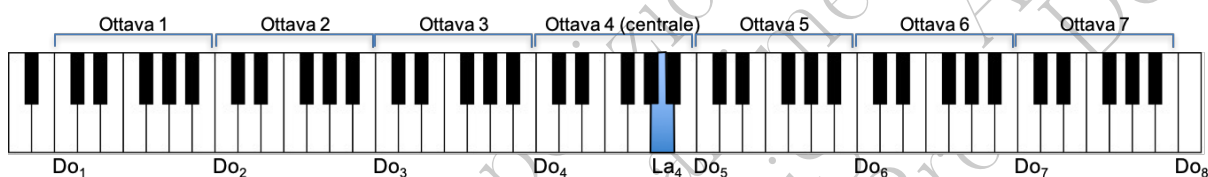


Figura 1.1: Tastiera a 88 tasti

La sensibilità del nostro orecchio nel percepire note diverse è la base per la creazione delle melodie e delle armonie. Due suoni con la stessa frequenza vengono percepiti come la stessa nota (in effetti sono la stessa nota). Due suoni con frequenze diverse vengono percepiti come distinti. Se le frequenze sono molto vicine fra di loro, ad esempio, 440Hz e 441Hz, è estremamente difficile distinguere i due suoni. All'aumentare della differenza delle frequenze la diversità dell'altezza appare evidente. La capacità di individuare la differenza è soggettiva. Un ottimo orecchio musicale riesce a distinguere anche suoni con frequenze molto vicine; un orecchio "stonato" ha maggiori difficoltà. Una capacità abbastanza rara è quella chiamata "orecchio assoluto" e consiste nel riuscire a individuare le frequenze delle note/suoni che si ascoltano. Pochissime persone hanno il dono dell'orecchio assoluto. Ancor più raro è l'orecchio "armonico" che riesce a percepire le singole note di un insieme di note suonate contemporaneamente. Più comune è l'orecchio "relativo" che riesce a individuare l'intervallo fra due note, cioè la differenza fra le frequenze delle due note.

Due (o più) suoni percepiti insieme o in sequenza possono risultare più o meno gradevoli. La "consonanza" di due suoni fa riferimento proprio a questo aspetto. Due note con la stessa frequenza, essendo la stessa nota, sono naturalmente consonanti. Anche due note le cui frequenze sono una il doppio dell'altra sono molto consonanti; sono talmente consonanti che il nostro orecchio è portato a considerare i due suoni come lo stesso suono.



Usare un programma che permetta di controllare la frequenza del suono prodotto per ascoltare suoni con frequenze diverse ma vicine. Ad esempio provare a distinguere un suono con frequenza 440Hz da un suono con frequenza 441Hz. Aumentare la differenza se i suoni sembrano uguali. Ascoltare due suoni con frequenze una il doppio dell'altra.

Un intervallo, cioè la distanza fra due suoni, può essere rappresentato con il rapporto delle frequenze dei due suoni. Un intervallo costituito da due note con la stessa frequenza f corrisponde al rapporto $f/f = 1$.

Un intervallo costituito da due note con frequenze f e $2f$ corrisponde al rapporto $\frac{2f}{f} = 2$. I due intervalli appena descritti sono dei casi particolari e corrispondono all'unisono (rapporto=1) e all'ottava (rapporto=2). Si noti come il termine *ottava*, che indica anche i gruppi di 12 note sul pianoforte, venga utilizzato per indicare anche un suono con una frequenza doppia rispetto a un altro suono. La motivazione per la quale si usa il numero 8, da cui deriva ottava, è dovuta al fatto che, come vedremo in seguito, fra un suono e la sua ottava si costruiscono delle sequenze di altri suoni, dette scale, che solitamente, ma non sempre, sono formate da 7 suoni per cui l'ottavo suono corrisponde a quello di partenza¹.

Data una frequenza di riferimento f_r , possiamo ottenere tutte le ottave corrispondenti a f_r raddoppiando o dimezzando f_r . Quindi le frequenze delle ottave di f_r sono

$$f_n = f_r \cdot 2^n, n \in \mathbb{Z}$$

Le frequenze $f_n > f_r$ corrispondono alle ottave più acute (alte) di f_r , mentre quelle con $f_n < f_r$, ottenute scegliendo n negativo corrispondono alle ottave più gravi (basse). L'unisono può essere considerato come l'ottava ottenuta scegliendo $n = 0$.

Le ottave (e l'unisono) di una nota sono le note che risultano più consonanti al nostro orecchio. Che l'unisono sia una consonanza non sorprende, visto che le due note sono in realtà la stessa nota. Le ottave vengono percepite come la stessa nota di partenza, solo più acuta o più grave.

¹E da questo punto di vista l'uso del numero 8 è improprio, visto che ci possono essere scale con un numero diverso di note.

Volendo fare un parallelo matematico potremmo dire che l'unisono corrisponde all'uguaglianza e l'ottava all'equivalenza.

Per questo motivo il sistema musicale è basato sulle ottave. Volendo usare di nuovo un parallelo con la matematica, potremmo dire che la consonanza delle ottave è l'assioma del nostro sistema musicale.

1.2.2 Timbro

Il timbro è l'insieme delle caratteristiche di un suono che permette di distinguere diverse sensazioni uditive per suoni con timbri diversi. Ad esempio il violino produce un suono con un timbro diverso da quello prodotto da un pianoforte o da un flauto. Differenze di timbro possono essere ottenute anche usando lo stesso strumento ma in maniere diverse, ad esempio pizzicando le corde oppure suonandole con l'arco, nel caso di uno strumento ad arco.

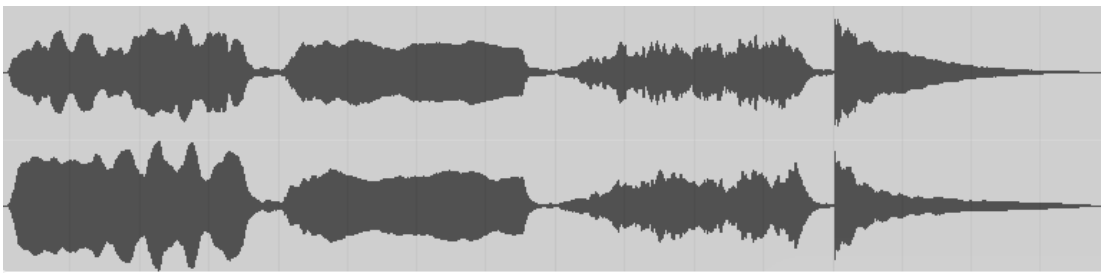


Figura 1.2: Forma d'onda di suoni di flauto, violino, organo e pianoforte

Un suono può essere visualizzato graficamente tramite un'oscilloscopio. L'oscilloscopio misura le variazioni di tensione di un segnale elettrico in funzione del tempo. Per ottenere una tale rappresentazione di un suono, le variazioni di pressione dell'aria prodotte dal suono vengono prima trasformate in un segnale elettrico tramite un microfono e poi misurate dall'oscilloscopio. La Figura 1.2 mostra le diverse forma d'onda per i timbri di un flauto, un organo, un violino, e un pianoforte² quando suonano la stessa nota. In questa figura la scala del tempo è molto piccola. La Figura 1.3 mostra un piccolo pezzo della forma d'onda del suono del pianoforte con una scala molto grande che permette di vedere meglio la forma d'onda.

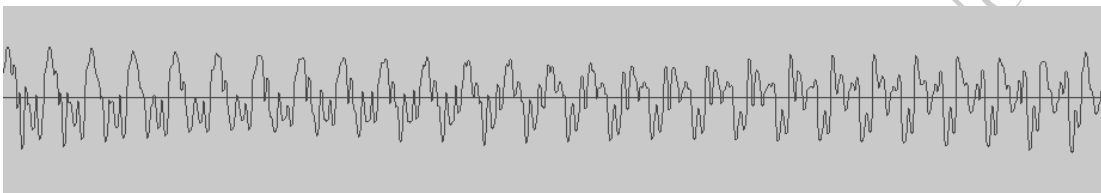


Figura 1.3: Forma d'onda (pianoforte) ingrandimento

1.2.3 Durata

Le note hanno una durata e sono posizionate nel tempo, cioè per ogni nota c'è l'inizio della nota e successivamente, dopo un intervallo di tempo pari alla durata della nota, il suono cessa. Da un punto di vista matematico le note possono essere viste come funzioni che associano a un determinato intervallo temporale una determinata altezza. Pertanto è possibile rappresentare la musica usando un sistema di assi cartesiani in cui le ordinate indicano il tempo e le ascisse la

²Il file audio `timbri.mp3` contiene i suoni la cui forma d'onda è mostrata nella figura.

frequenza. Ogni nota sarà rappresentata da un segmento orizzontale il cui inizio e la cui fine, e di conseguenza la cui durata, dipendono dalla posizione della nota nella partitura e dalla durata della nota. La Figura 1.4 riporta un esempio.

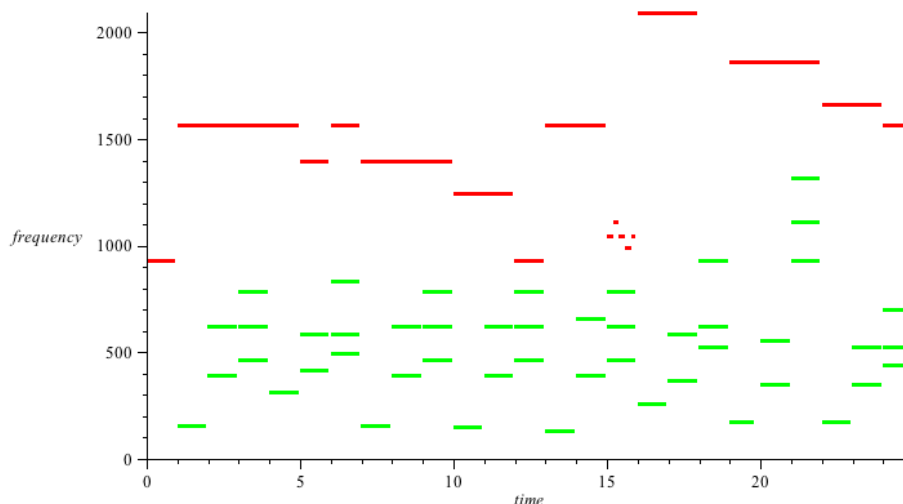


Figura 1.4: Esempio di rappresentazione su assi cartesiani (Chopin, Notturmo op.9 n.2)

1.3 Note in un'ottava

Se a ogni frequenza corrispondesse una nota avremmo infinite note, una per ogni possibile frequenza. Poiché però è difficile distinguere due note con frequenze che differiscono di poco, in pratica vengono utilizzate solo determinate frequenze. In realtà questa scelta è arbitraria, anche se ci sono delle motivazioni ben precise. Le ottave sono state divise in 12 note. Cioè fra le frequenze incluse tra un valore f e il suo doppio $2f$, vengono scelte “solo” 12 frequenze, 13 considerando anche l’ottava, che determinano le 12 possibili note in un’ottava. Inoltre il sistema utilizza come punto di partenza la frequenza pari a 440 Hz (anche questa scelta è arbitraria e non di rado si sceglie 442Hz o anche 443Hz, mentre in altri periodi storici sono stati usati anche valori leggermente più piccoli di 440).

Nel Capitolo 2 approfondiremo la scelta delle specifiche frequenze per le note. Anticipiamo qui qualche informazione. Data una frequenza di riferimento f_R , la formula $f_x = f_R \cdot 2^x$, $x \in \mathbb{R}$ ci permette di calcolare una qualsiasi altra frequenza. In particolare per $x \in \mathbb{Z}$ otteniamo le ottave di f_R . Abbiamo già detto che l’ottava è considerata la base del sistema musicale in quanto l’orecchio percepisce le ottave come estremamente consonanti, quasi come se fossero lo stesso suono.

L’ottava è divisa in 12 intervalli, detti *semitoni*, uguali. Le frequenze di questi 12 suoni possono essere calcolate, partendo da una frequenza di riferimento, con

$$f_k = f_R \cdot \left(2^{\frac{1}{12}}\right)^k, k \in 0, 1, 2, \dots, 12.$$

Ad esempio se la frequenza di riferimento è $f_R = 440\text{Hz}$, che corrisponde al La centrale del nostro sistema musicale, si ha che $f_1 = 440 \cdot 2^{1/12} \simeq 446\text{Hz}$. In altre parole l’intervallo di un semitono corrisponde al valore

$$\sqrt[12]{2} \simeq 1.05946.$$

Pertanto fra la nota La corrispondente alla frequenza di 440Hz e la sua ottava a 880Hz ci sono altre 11 note, come mostrato nella seguente figura:

Tabella 1.1: Frequenze delle note

Ottava 0				Ottava 1				Ottava 2			
#	Midi	Nota	Frequenza	#	Midi	Nota	Frequenza	#	Midi	Nota	Frequenza
				4	24	C	32.703 Hz	16	36	C	65.406 Hz
				5	25	C#	34.647 Hz	17	37	C#	69.295 Hz
				6	26	D	36.708 Hz	18	38	D	73.416 Hz
				7	27	D#	38.890 Hz	19	39	D#	77.781 Hz
				8	28	E	41.203 Hz	20	40	E	82.407 Hz
				9	29	F	43.653 Hz	21	41	F	87.307 Hz
				10	30	F#	46.249 Hz	22	42	F#	92.498 Hz
				11	31	G	48.999 Hz	23	43	G	97.999 Hz
				12	32	G#	51.913 Hz	24	44	G#	103.826 Hz
1	21	A	27.500 Hz	13	33	A	55.000 Hz	25	45	A	110.000 Hz
2	22	A#	29.135 Hz	14	34	A#	58.270 Hz	26	46	A#	116.541 Hz
3	23	B	30.867 Hz	15	35	B	61.735 Hz	27	47	B	123.471 Hz
Ottava 3				Ottava 4				Ottava 5			
#	Midi	Nota	Frequenza	#	Midi	Nota	Frequenza	#	Midi	Nota	Frequenza
28	48	C	130.813 Hz	40	60	C	261.625 Hz	52	72	C	523.251 Hz
29	49	C#	138.591 Hz	41	61	C#	277.182 Hz	53	73	C#	554.365 Hz
30	50	D	146.832 Hz	42	62	D	293.664 Hz	54	74	D	587.329 Hz
31	51	D#	155.563 Hz	43	63	D#	311.126 Hz	55	75	D#	622.253 Hz
32	52	E	164.814 Hz	44	64	E	329.627 Hz	56	76	E	659.255 Hz
33	53	F	174.614 Hz	45	65	F	349.228 Hz	57	77	F	698.456 Hz
34	53	F#	184.997 Hz	46	66	F#	369.994 Hz	58	78	F#	739.988 Hz
35	55	G	195.998 Hz	47	67	G	391.995 Hz	59	79	G	783.990 Hz
36	56	G#	207.652 Hz	48	68	G#	415.304 Hz	60	80	G#	830.609 Hz
37	57	A	220.000 Hz	49	69	A	440.000 Hz	61	81	A	880.000 Hz
38	58	A#	233.081 Hz	50	70	A#	466.163 Hz	62	82	A#	932.326 Hz
39	59	B	246.942 Hz	51	71	B	493.883 Hz	63	83	B	987.766 Hz
Ottava 6				Ottava 7				Ottava 8			
#	Midi	Nota	Frequenza	#	Midi	Nota	Frequenza	#	Midi	Nota	Frequenza
64	84	C	1046.502 Hz	76	96	C	2093.004 Hz	88	108	C	4186.008 Hz
65	85	C#	1108.721 Hz	77	97	C#	2217.442 Hz				
66	86	D	1174.658 Hz	78	98	D	2349.316 Hz				
67	87	D#	1244.506 Hz	79	99	D#	2489.012 Hz				
68	88	E	1318.310 Hz	80	100	E	2636.620 Hz				
69	89	F	1396.912 Hz	81	101	F	2793.824 Hz				
70	90	F#	1479.996 Hz	82	102	F#	2959.992 Hz				
71	91	G	1567.980 Hz	83	103	G	3135.969 Hz				
72	92	G#	1661.218 Hz	84	104	G#	3322.436 Hz				
73	93	A	1760.000 Hz	85	105	A	3520.000 Hz				
74	94	A#	1864.652 Hz	86	106	A#	3729.304 Hz				
75	95	B	1975.532 Hz	87	107	B	3951.064 Hz				

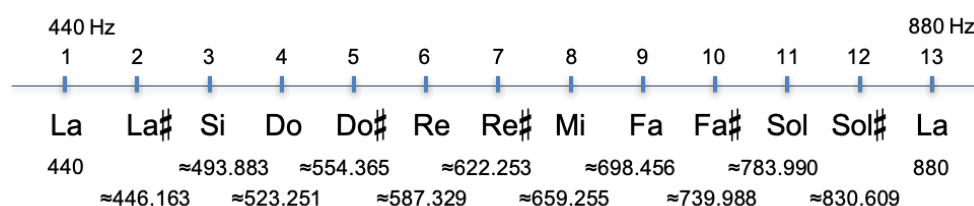


Figura 1.5: Note in un'ottava

Le note di un'ottava vengono identificate da nomi. Nella notazione di origine latina si utilizzano le sillabe Do, Re, Mi, Fa, Sol, La e Si, mentre in quella anglosassone i nomi delle note sono le lettere dalla A alla G, con la A che indica il La, la B il Si, la C il Do e così via, come mostrato nella tabella che segue.

A	B	C	D	E	F	G
La	Si	Do	Re	Mi	Fa	Sol

Oltre alle 7 note che hanno un nome proprio che non fa uso delle *alterazioni*, ci sono altre 5 note che si ottengono usando le alterazioni di bemolle (b), che abbassa la frequenza alla nota precedente, e diesis (#), che alza la frequenza alla nota successiva. Dette note si trovano fra il Do e il Re (Do# o Reb), il Re e il Mi (Re# o Mib), il Fa e il Sol (Fa# o Solb), il Sol e il La (Sol# o Lab), e infine fra il La e il Si (La# o Sib). Queste note possono essere identificate in più modi, come ad esempio Do# e Reb. L'utilizzo delle alterazioni può anche essere multiplo anche se nella pratica musicale ci si limita, solitamente, alla doppia alterazione: un doppio bemolle, indicato con “bb” e un doppio diesis indicato con “##”. Un doppio bemolle altera la nota abbassandola di due semitoni, pertanto si ha che Solbb equivale a Fa, come Do## equivale a Re.

La Figura 1.6 illustra i nomi delle note in un'ottava che parte dalla nota Do.

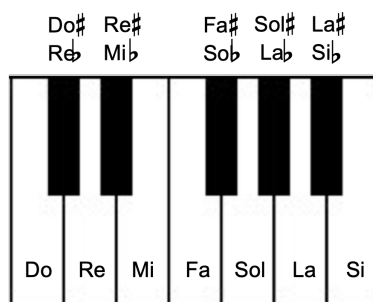


Figura 1.6: Nomi delle note

La Tabella 1.1 riporta le frequenze delle note che corrispondono agli 88 tasti di un pianoforte e il loro codice MIDI; del protocollo MIDI parleremo nel Capitolo 3.

1.4 Tono e semitono

Numerando le note nell'ordine in cui compaiono su un pianoforte, o utilizzando la numerazione del protocollo MIDI, la distanza (musicale) fra una nota i e quella successiva $i+1$, ad es. fra un La e il successivo La# oppure fra un Mi e il successivo Fa, è detta *semitono*, che nel seguito abbrevieremo con “s”, mentre la distanza fra una nota i e la nota $i+2$, ad es. fra La e il successivo Si oppure fra un Mi e il successivo Fa#, è detta *tono*, che nel seguito abbrevieremo con “T”. Le motivazioni per questa nomenclatura saranno chiarite nel Capitolo 2.

1.5 Rappresentazione: il pentagramma

Per rappresentare graficamente le note i musicisti utilizzano il *pentagramma*, che è formato da 5 linee parallele. All'inizio del pentagramma è riportato un simbolo detto *chiave*. La chiave determina l'altezza (ottava di riferimento) delle note riportate nel pentagramma. Nella figura seguente sono riportate le posizioni delle note nel pentagramma con la chiave di violino.



Con questa chiave la seconda linea del pentagramma corrisponde al Sol della quarta ottava (47° tasto del pianoforte, codice MIDI 67). Pertanto, le note negli spazi fra i 5 righi del pentagramma sono Fa, La, Do e Mi, mentre le note sui 5 righi sono Mi, Sol, Si, Re e Fa. È possibile andare anche oltre il pentagramma usando righe aggiuntive (non espressamente disegnati) nel qual caso si utilizzano dei segni detti *tagli* che indicano il numero di righe aggiuntive necessari. Nell'esempio precedente la prima e la quarta nota dell'ultimo gruppo fanno uso di un taglio. Nell'esempio seguente le note sono riportate in ordine di altezza crescente.

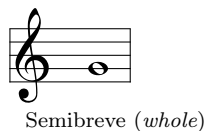


La seguente figura mostra tutte le 12 note di un'ottava (13 considerando che il Do c'è sia all'inizio sia alla fine come ottava del primo) in un pentagramma in chiave di violino. Si noti che le note con le alterazioni sono ripetute due volte, la prima con l'alterazione # e la seconda con l'alterazione b, quest'ultima messa fra parentesi per enfatizzare il fatto che è una ripetizione della nota precedente.



1.5.1 Rappresentazione della durata

Nell'analogia con le frazioni, l'intero musicale è la *semibreve* (*whole*), che si indica con un cerchietto vuoto:



Essendo un intero la semibreve equivale a 4 quarti. La metà di una semibreve è la *minima* (*half*) che ovviamente vale 2 quarti. È rappresentata con un cerchietto vuoto con un *gambo* (che può essere sia verso l'alto, quando lo si mette a destra del cerchietto, che verso il basso, quando lo si mette a sinistra).



La metà di una minima è detta *semiminima* (*crotchet* o *quarter*), vale 1 quarto e a differenza della minima ha il cerchietto riempito:

Seminima (*crotchet* o *quarter*)

La metà di una semiminima è detta *croma* (*quaver*), vale 1 ottavo e a differenza della semiminima ha una *cediglia* (o coda) attaccata al gambo:

Croma (*quaver*)

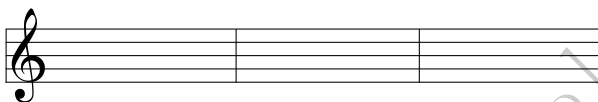
La metà di una croma è detta *semicroma* (*semiquaver*), vale 1 sedicesimo e rispetto alla croma ha due cediglie:

Semicroma (*quaver*)

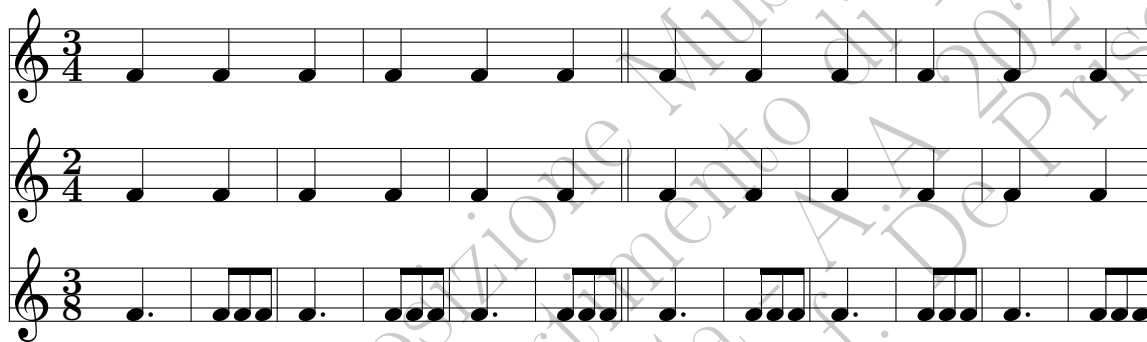
Esistono anche la biscroma (*demisemiquaver*) che vale un 32esimo e la semibiscroma (*hemidemisemiquaver*) che vale un 64esimo, che hanno rispettivamente 3 e 4 cediglie. E, da un punto di vista matematico, potremmo procedere a piacimento.

Un punto dopo il simbolo della nota aumenta la durata del 50%. Ad esempio, una nota che dura $1/2$, seguita da un punto, durerà $1/2 + 1/4$; una nota che dura $1/4$, seguita da un punto, durerà $1/4 + 1/8$; una nota che dura $1/4$, seguita da due punti, durerà $1/4 + 1/8 + 1/16$.

Il pentagramma può essere visto come una sorta di sistema di assi cartesiani in cui l'asse verticale viene usato per rappresentare l'altezza, l'asse orizzontale viene utilizzato per indicare il tempo. In effetti ha la stessa funzionalità della rappresentazione mostrata in Figura 1.4 perché riporta le stesse informazioni, cioè altezza e durata delle singole note, ma con simboli grafici più facilmente leggibili. Quindi per quanto riguarda il tempo, il pentagramma va letto da sinistra verso destra. Le altezze invece vengono specificate dalla posizione verticale nel pentagramma. La durata utilizza i simboli descritti in precedenza. Inoltre la musica viene divisa in *battute* la cui fine è segnalata da una barra verticale nel pentagramma.



La durata di ogni singola battuta e delle note specificate nel pentagramma dipende da un'indicazione metrica specificata subito dopo la chiave.



La metrica del tempo, nella forma di una frazione senza il simbolo di frazione (cioè due interi uno sopra l'altro), si suole leggere nello stesso modo di una frazione, ad esempio *tre quarti*. Essa indica due cose. Il “numeratore” indica di quanti elementi è fatta una battuta. Il “denominatore”

indica la durata di ogni singolo elemento e, di conseguenza, insieme al numeratore, la durata dell'intera battuta. Riprendendo l'esempio del tempo tre quarti si ha che ogni battuta è composta da 3 elementi la cui durata (relativa) è di un quarto. La durata è relativa in quanto dobbiamo specificare con una indicazione separata la velocità con cui si esegue la musica: tale velocità viene specificata in *battiti* al minuto. Ad esempio $\text{♩} = 132$, che determina la durata reale di una croma specificando che in un minuto ci sono 132 crome (quindi una croma in questo caso dura $60/132 \simeq 0,45$ secondi).

1.5.2 Chiavi

Il simbolo della chiave posto all'inizio del pentagramma di fatto indica una particolare "traslazione" delle note, verso il basso o verso l'alto. Detto in altre parole, a ogni chiave viene associata una determinata gamma di note. Esistono varie chiavi per poter indicare all'interno del pentagramma le varie ottave. Per i nostri scopi è sufficiente conoscere le cosiddette chiavi di violino e di basso.

Violino Do Re Mi Fa Sol La Si Do₄ Re₄ Mi₄ Fa₄ Sol₄ La₄ Si₄ 261 293 330 349 392 440 494Hz

Basso Mi Fa Sol La Si Do Re Mi₂ Fa₂ Sol₂ La₂ Si₂ Do₃ Re₃ 82 87 98 110 123 131 147Hz

1.6 Scale

Una scala musicale è una sequenza di suoni con altezza crescente che partono da una determinata nota e arrivano all'ottava successiva. La possiamo mettere in relazione a una scala che ci permette di salire da un piano al successivo; per la musica i "piani" sono una nota e le sue ottave. Proprio come succede per le scale fisiche, la scala musicale ha dei gradini che ci permettono di salire, e anche scendere ovviamente, per gradi. Il numero di gradini, che nel gergo musicale sono chiamati *gradi*, è variabile. A differenza delle scale fisiche (almeno quelle ben costruite!), i "gradini" delle scale musicali non sono tutti uguali. Ogni gradino ha la sua "alzata": l'intervallo fra un grado e quello successivo può variare. Le scale più comuni hanno 7 gradini per cui l'ottavo suono corrisponde alla consonanza con frequenza doppia rispetto a quella di partenza. Per questo motivo la frequenza doppia viene chiamata ottava. Ovviamente il termine è improprio per scale che sono fatte da un numero diversi di gradini, ma essendo d'uso comune e universalmente accettato, il termine ottava indica la frequenza doppia anche quando non è l'ottavo suono della scala.

Dunque, genericamente parlando, una scala è una sequenza di un numero arbitrario di suoni, che determina una sequenza di intervalli (le alzate dei gradini). Pertanto la sequenza di intervalli identifica univocamente la scala. Da un punto di vista informatico/matematico è comodo misurare gli intervalli in semitoni, visto che il semitono è la più piccola distanza fra due note e che tutte le altre distanze sono multipli di semitoni. Inoltre, considerando che la scala ci deve far salire da una nota alla sua ottava, che dista esattamente 12 semitoni dalla nota di partenza, una scala può essere definita nel seguente modo.

Scala musicale. Una scala musicale è identificata da una sequenza di n interi positivi, $\langle s_1, s_2, \dots, s_n \rangle$, tali che

$$\sum_{i=1}^n s_i = 12.$$

Nota	Intervalli	Modo (nome scala)
Do	T T s T T T s	Ionico (Maggiore)
Re	T s T T T s T	Dorico
Mi	s T T T s T T	Frigio
Fa	T T T s T T s	Lidio
Sol	T T s T T s T	Misolidio
La	T s T T s T T	Eolio (Minore)
Si	s T T s T T T	Locrio

Tabella 1.2: Scale diatoniche

Ad esempio la scala che otteniamo salendo da un Do al Do successivo usando tutti i tasti bianchi del pianoforte inclusi fra il Do di partenza e il Do di arrivo, è Do, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si e il Do all'ottava, e corrisponde alla sequenza di intervalli $\langle 2, 2, 1, 2, 2, 2, 1 \rangle$. Questa scala è la scala denominata *maggiore*. Gli intervalli di semitono e tono corrispondono rispettivamente a 1 e 2. Quindi la sequenza di intervalli della scala maggiore è TTsTTTs.

Dovrebbe essere chiaro che, con questa definizione, il numero possibili di scale è enorme. Ad esempio $\langle 1, 2, 3, 4, 2 \rangle$ è una scala, come pure $\langle 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 \rangle$. Ma anche la sequenza $\langle 1, 1, 1, 1, 1, 1, 6 \rangle$ o qualsiasi altra sequenza di interi positivi la cui somma è 12. Non tutte le sequenze che hanno questa proprietà però corrispondono a scale effettivamente utilizzate in musica; in pratica le scale utilizzate sono poche. Quelle più utilizzate, in particolare nella musica cosiddetta classica, sono la scala maggiore e la scala minore. Nella musica contemporanea, in particolare nel jazz, vengono usate anche altre scale.

1.6.1 Scala maggiore e scale diatoniche

Una scala diatonica è costruita usando le sette note senza alterazioni in sequenza di altezza ascendente; la scala inizia da una nota di riferimento finisce con l'ottava superiore della nota di partenza. Partendo dal Do si ottiene una scala detta *maggiore*:



Nella scala maggiore e la successione di intervalli è la seguente:

Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
	T	T	s	T	T	T	s

In questa particolare scala diatonica l'intervallo di semitono esiste fra il terzo ed il quarto grado della scala (Mi e Fa) e fra il settimo e l'ottavo grado (il Si ed il Do all'ottava). Fra tutti gli altri gradi successivi intercorre un intervallo di tono.

Poiché una scala diatonica può partire da una qualsiasi delle 7 note, esistono sette diverse scale diatoniche, che corrispondono a degli "shift circolari" della sequenza di intervalli della scala maggiore, come riassunto nella Tabella 1.2.

1.6.2 Scala minore melodica

Partendo dal La si ottiene la scala minore, la cui sequenza diversa di intervalli, è TsTTsTT.

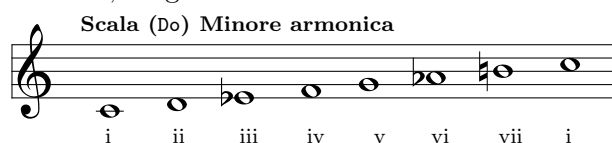
La	Si	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La
	T	s	T	T	s	T	T

Inoltre la scala minore, quando eseguita in senso ascendente, prevede la sesta e la settima nota *alterate*, cioè innalzate di un semitono. Viene detta scala minore *melodica* per distinguerla dalla scala minore detta *armonica*.



1.6.3 Scala minore armonica

La scala minore armonica è data dalla sequenza di intervalli TsTTs3s, dove il 3 indica un intervallo di 3 semitoni; quindi non può essere costruita con le sole note senza alterazioni. A differenza della minore melodica, è uguale sia in senso ascendente che in senso discendente.



1.6.4 Scala cromatica

La scala cromatica è una scala che è formata da tutti i suoni dell'ottava in sequenza di frequenza crescente. Corrisponde alla sequenza di intervalli 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1. In una scala cromatica due note successive sono sempre a distanza di un semitono.



Figura 1.7: Scala cromatica

1.6.5 Altre scale

La scala pentatonica maggiore è formata da 5 suoni con i seguenti intervalli misurati in numero di semitoni: {2,3,2,2,3} (Do,Re,Fa,Sol,La,Do). I 5 tasti neri di un pianoforte, a partire dal Do# formano una scala pentatonica maggiore. La pentatonica minore invece è {3,2,2,3,2} (La,Do,Re,Fa,Sol,La). I 5 tasti neri di un pianoforte, a partire dal La# formano una scala pentatonica minore. Come per le scale maggiori e minori diatoniche la scala pentatonica minore è uno shift ciclico di quella maggiore. La scala esatonale, usata molto da Debussy, è {2,2,2,2,2,2} (Do,Re,Mi,Fa#,Sol#,La#,Do). La scala blues è {3,2,1,1,3,2} (Do,Mib,Fa,Solb,La,Si,Do).

1.6.6 Scale maggiormente utilizzate

Le scale utilizzate nella musica contemporanea occidentale sono il modo maggiore ed il modo minore; gli altri modi vengono usati molto raramente o praticamente mai, con l'eccezione della musica Jazz e Blues.

1.6.7 Gradi della scala

Confinando il discorso alle scale classiche di 7 suoni, le 7 note di una scala musicale vengono chiamate *gradi* della scala, con il primo grado che corrisponde alla prima nota e il settimo grado

Scala di	Note	Numero di \sharp	Numero di \flat
Do	Do Re Mi Fa Sol La Si Do	-	-
Do \sharp	Do \sharp Re \sharp Mi \sharp Fa \sharp Sol \sharp La \sharp Si \sharp Do \sharp	7	-
Re \flat	Re \flat Mi \flat Fa Sol \flat La \flat Si \flat Do Re \flat	-	5
Re	Re Mi Fa \sharp Sol La Si Do \sharp Re	2	-
Mi \flat	Mi \flat Fa Sol La \flat Si \flat Do Re Mi	-	3
Mi	Mi Fa \sharp Sol \sharp La Si Do \sharp Re \sharp Mi	4	-
Fa	Fa Sol La Si \flat Do Re \sharp Mi Fa	-	1
Fa \sharp	Fa \sharp Sol \sharp La \sharp Si Do \sharp Re \sharp Mi \sharp Fa \sharp	6	-
Sol \flat	Sol \flat La \flat Si \flat Do \flat Re \flat Mi \flat Fa Sol \flat	-	6
Sol	Sol La Si Do Re Mi Fa \sharp Sol	1	-
La \flat	La \flat Si \flat Do Re \flat Mi \flat Fa Sol La \flat	-	4
La	La Si Do \sharp Re Mi Fa \sharp Sol \sharp La	3	-
Si \flat	Si \flat Do Re Mi \flat Fa Sol La Si \flat	-	2
Si	Si Do \sharp Re \sharp Mi Fa \sharp Sol \sharp La \sharp Si	5	-
Do \flat	Do \flat Re \flat Mi \flat Fa \flat Sol \flat La \flat Si \flat Do \flat	-	7

Tabella 1.3: Scale Maggiori

alla settima nota. I gradi vengono indicati con i numeri romani, in maiuscolo per la scala maggiore e in minuscolo per quella minore.

I gradi della scala hanno anche un nome che descrive una specifica funzione musicale. Il primo grado è detto *tonica*, in quanto rappresenta il “tono” (nota) sul quale è costruito la scala: la “tonalità” è la scala stessa. Il quinto grado è detto *dominante*. La tonica e la dominante sono i gradi più importanti; nella musica popolare spesso i brani sono costruiti usando solo accordi di tonica e di dominante. La seguente tabella riporta i nomi di tutti i gradi della scala.

I	II	III	IV	V	VI	VII
Tonica	Sopratonica	Mediante	Sottodominante	Dominante	Sopradominante	Sensibile

1.7 Scale e trasposizione

La suddivisione dell’ottava in 12 semitoni è stata ideata per poter utilizzare una determinata scala, ad esempio la scala maggiore, a partire da una qualunque delle 12 possibili note. Ad esempio per ottenere la scala maggiore a partire da **Re**, dobbiamo utilizzare le seguenti note **Re, Mi, Fa \sharp , Sol, La, Si, Do \sharp , Re**. Si può facilmente verificare che gli intervalli fra i gradi di questa scala corrispondono a quelli della scala maggiore:

$$\begin{array}{cccccccc}
 \text{Re} & \text{Mi} & \text{Fa}\sharp & \text{Sol} & \text{La} & \text{Si} & \text{Do}\sharp & \text{Re} \\
 \text{T} & \text{T} & \text{s} & \text{T} & \text{T} & \text{T} & \text{s} &
 \end{array}$$

Pertanto qualsiasi nota può fungere da punto di partenza per una scala maggiore. Poiché ci sono 12 note, possiamo avere 12 scale maggiori, fra di loro equivalenti in termini di distanza fra i gradi successivi. La Tavola 1.3 riporta tutte le scale maggiori che si possono costruire a partire da una qualsiasi delle 12 note. Le note alterate (i tasti neri del pianoforte) possono essere specificate sia da un \sharp che da un \flat .

Le alterazioni utilizzate in ognuna delle scale servono ad avere sempre la stessa successione di intervalli, cioè TTsTTTs, della scala maggiore. Le tonalità maggiori possono essere organizzate nel

cosiddetto circolo delle quinte in funzione del numero di alterazioni utilizzate dalla scala maggiore. Nella sequenza del circolo delle quinte si parte dalla scala di Do che non ha alterazioni e ogni scala successiva ha un'alterazione in più rispetto alla precedente. Potendo usare 2 alterazioni (il \sharp ed il \flat) possiamo spostarci in due direzioni, verso destra per i \sharp e verso sinistra per i \flat . Ad un certo punto proseguendo in entrambe le direzioni si ottengono scale equivalenti (stesse note anche se con nomi diversi). Per questo motivo si ha un "cerchio", da cui il nome circolo.

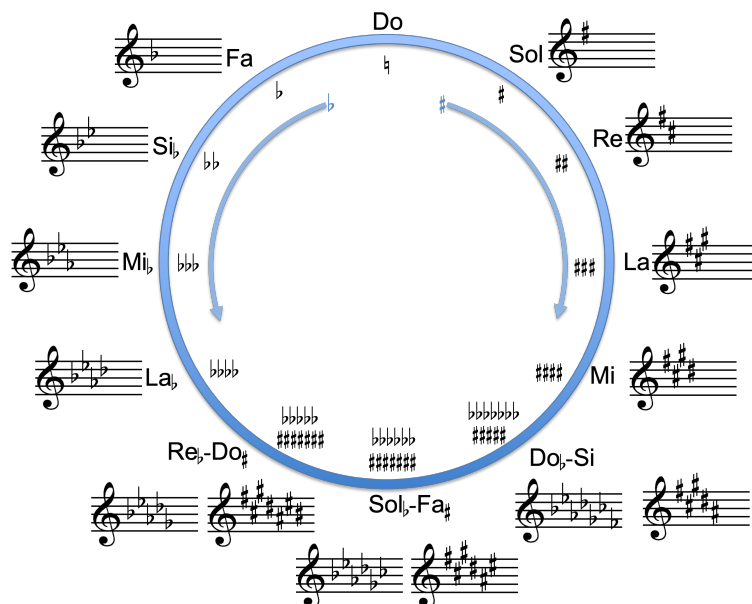


Figura 1.8: Circolo delle quinte, scale maggiori

Le alterazioni possono essere anche specificate *in chiave*, in modo tale da non doverle ripetere per ogni nota. Stabilita la tonica automaticamente abbiamo stabilito l'intera scala che, in funzione della tonica, determinerà le alterazioni, \sharp o \flat , necessarie per mantenere gli intervalli richiesti dalla scala. Per non ripetere l'alterazione a ogni nota le alterazioni determinate dalla scala vengono scritte una sola volta all'inizio del rigo subito dopo la chiave.

La Figura 1.8, fornisce una descrizione grafica del circolo delle quinte.

1.8 Intervalli musicali

Un intervallo musicale fra due note di una scala è dato dalla distanza fra i relativi gradi, distanza che viene misurata contando i gradi inclusi quello di partenza e quello di arrivo. Ad esempio, fra un Do e il successivo Mi in senso ascendente c'è un intervallo di terza, fra un Re e il successivo La in senso ascendente c'è un intervallo di quinta, fra un La il "successivo" Re in senso discendente c'è un intervallo di quarta. Si noti come sia stata sfruttata la ciclicità delle scale e anche l'importanza della direzione ascendente o discendente: da un La al successivo Re, se il senso è ascendente c'è un intervallo di quarta, mentre se il senso è discendente c'è un intervallo di quinta.

Un'altra osservazione importante è relativa alla reale distanza fra le note. Tale distanza dipende dalla scala. Ad esempio in una scala maggiore la distanza fra il I e il III grado è di 4 semitoni (Do-Do \sharp -Re-Re \sharp -Mi) o equivalentemente di 2 toni. Mentre in una scala minore è di 3 semitoni (La-La \sharp -Si-Do). Quindi si distingue fra terza maggiore e terza minore. In generale un intervallo può essere aumentato o diminuito di un semitono; un intervallo aumentato viene anche detto eccedente. Ad esempio l'intervallo di quinta è fatto da 7 semitoni (Do-Do \sharp -Re-Re \sharp -Mi-Fa-Fa \sharp -Sol);

aumentandolo di un semitono si ha un quinta detta *aumentata* (o *eccedente*) (es. Do-Sol \sharp) mentre diminuendolo di un semitono si ha una quinta detta *diminuita* (es. Do-Sol \flat). Si noti anche come per l'intervallo di quinta non c'è differenza fra scala maggiore e scala minore: ci sono sempre 7 semitoni. Nel gergo musicale si usa l'aggettivo *giusta* per la quinta; quindi una quinta è giusta sia nella scala maggiore che nella scala minore. Per entrambe può essere sia eccedente che diminuita.

Oltre alla quinta anche l'unisono, la 4^a e l'8^a vengono detti giusti, in quanto non differiscono nelle scale maggiori e minori. Di contro, la 2^a, la 3^a, la 6^a e la 7^a sono maggiori nella scala maggiore e minori nella scala minore. Un intervallo minore può essere ulteriormente diminuito, e un intervallo maggiore può essere anche aumentato.

Un modo sistematico per classificare gli intervalli è quello di contare i semitoni fra le due note. La seguente tabella riassume gli intervalli in funzione del numero di semitoni.

intervallo	semitoni	esempio
2 ^a diminuita	0	Do \sharp -Re \flat
2 ^a minore	1	Do-Re \flat
2 ^a maggiore	2	Do-Re
2 ^a aumentata (o ecc.)	3	Do-Re \sharp
3 ^a diminuita	2	Do \sharp -Mi \flat
3 ^a minore	3	Do-Mi \flat
3 ^a maggiore	4	Do-Mi
3 ^a aumentata (o ecc.)	5	Do-Mi \sharp
4 ^a diminuita	4	Do \sharp -Fa
4 ^a giusta	5	Do-Fa
4 ^a aumentata (o ecc.)	6	Do-Fa \sharp

intervallo	semitoni	esempio
5 ^a diminuita	6	Do \sharp -Sol
5 ^a giusta	7	Do-Sol
5 ^a aumentata (o ecc.)	8	Do-Sol \sharp
6 ^a diminuita	7	Do \sharp -La \flat
6 ^a minore	8	Do-La \flat
6 ^a maggiore	9	Do-La
6 ^a aumentata (o ecc.)	10	Do-La \sharp
7 ^a diminuita	9	Do \sharp -Si \flat
7 ^a minore	10	Do-Si \flat
7 ^a maggiore	11	Do-Si
7 ^a aumentata (o ecc.)	12	Do-Si \sharp

1.9 Melodia e armonia

La melodia e l'armonia sono i due “assi cartesiani” della musica. Una melodia è una successione temporale di note che nel loro insieme formano un canto, una *melodia* appunto. Mentre l'armonia è un insieme di note simultanee che in sinergia formano un *accordo*. Un brano musicale è costituito da più linee melodiche che proseguono insieme e, in sinergia, formano accordi che cambiano nel tempo. La Figura 1.9 fornisce una rappresentazione grafica: più linee melodiche procedono insieme e analizzandole verticalmente in uno specifico istante di tempo otteniamo un insieme di note che formano un accordo. In realtà il discorso è un po' più complesso in quanto spesso ci sono note che non fanno parte dell'accordo, ma questa semplificazione rende l'idea di base.

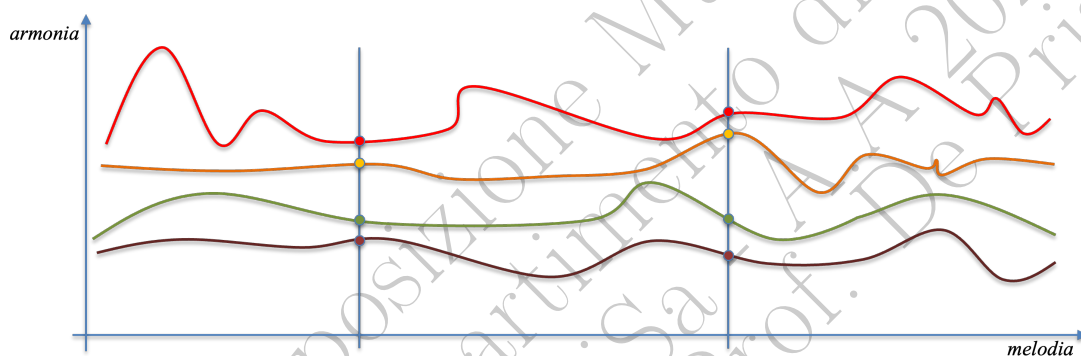


Figura 1.9: Assi “musicali”: melodia e armonia.

Nella figura sono state rappresentate quattro linee melodiche. Ovviamente non è sempre così. Il numero di linee melodiche è variabile; dipende dal tipo di composizione. Inoltre una delle linee melodiche, in molti casi ma non sempre quella più acuta, è la linea melodica principale che è quella che dovrebbe essere messa in risalto. Le altre linee melodiche tipicamente servono per creare l'accordo, anche se a volte hanno una vera e propria funzione melodica. Normalmente il "tema" di una composizione viene proposto nella linea melodica principale ma può essere anche proposto nelle altre linee.

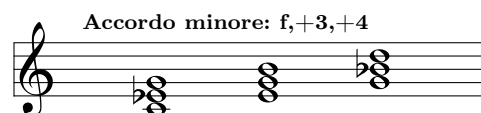
1.10 Accordi

Un accordo è un insieme simultaneo di almeno 3 note. Gli accordi più semplici sono le *triadi*, costituite da esattamente 3 note. Una triade è formata da una nota di partenza, detta *fondamentale* dell'accordo, dalla nota a distanza di una terza e dalla nota a distanza di una quinta dalla fondamentale, e quindi di una terza dalla seconda nota. Esistono 4 tipi di accordi di 3 suoni che si differenziano negli intervalli di terza fra le 3 note:

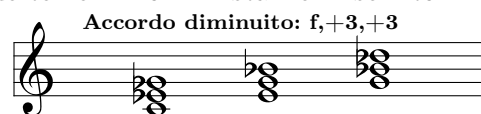
- Accordo (perfetto) maggiore: formato da terza maggiore e quinta giusta; se guardiamo gli intervalli fra le note successive abbiamo una terza maggiore e una terza minore. Distanze in semitoni: 4 e 3.



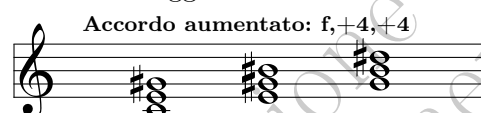
- Accordo (perfetto) minore: formato da terza minore e quinta giusta; se guardiamo gli intervalli fra le note successive abbiamo una terza minore e una terza maggiore. Distanze in semitoni: 3 e 4.



- Accordo di 5^a diminuita: formato da terza minore e quinta diminuita; gli intervalli fra le note successive sono due terze minori. Distanze in semitoni: 3 e 3.



- Accordo di 5^a aumentata: formato da terza maggiore e quinta aumentata; gli intervalli fra le note successive sono due terze maggiori. Distanze in semitoni: 4 e 4.



La definizione della triade prevede che la seconda e la terza nota sia a distanza di una terza. Tuttavia la triade può esser suonata anche invertendo l'ordine, ottenendo così tre possibili posizioni che in gergo vengono dette *rivolti*.

Quando la fondamentale corrisponde alla nota più grave dell'accordo, si dice che la triade è nella *posizione fondamentale*; se la nota più grave è la terza, allora si dice che la triade è in

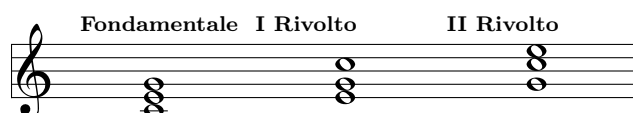


Figura 1.10: Rivolto delle triadi

primo rivolto; se la nota più grave è la quinta, allora si dice che la triade è in *secondo rivolto*. La Figura 1.10 mostra un esempio.

Gli accordi possono usare anche più di 3 suoni. In particolare gli accordi di 4 suoni sono detti accordi di settima, in quanto aggiungono la settima a un accordo di triade, e gli accordi di 5 suoni sono detti di nona, in quanto aggiungono una nona ad un accordo di settima.

1.11 Forme musicali

Le composizioni musicali hanno, nella maggior parte dei casi, una struttura ben definita. In gergo si utilizza il sostantivo *forma* musicale per indicare la struttura della composizione. Ovviamente esistono varie forme musicali. La forma determina il modo in cui gli elementi musicali, come ad esempio il tema, vengono organizzati. Ad esempio, in un brano di musica pop, solitamente sono previste due sezioni che vengono chiamate *strofa* e *ritornello*, spesso proposte nella sequenza SSRSSR, dove S indica la strofa e R il ritornello. Come altro esempio possiamo citare la forma *sonata* nella musica classica. Tale forma prevede 3 sezioni: l'esposizione del tema, lo sviluppo e la ripresa. Ognuna di queste 3 parti ha una propria struttura interna. L'esposizione presenta un tema principale, un ponte modulante (cioè che porta a un'altra tonalità), un secondo tema e una coda che porta a un'altra tonalità in contrasto con quella di impianto (solitamente verso la dominante per le tonalità maggiori e la relativa maggiore per le tonalità minori). Lo sviluppo presenta una elaborazione del materiale tematico e finisce con un ritorno nella tonalità di impianto. La ripresa ha una struttura simile all'esposizione ma con il ponte modulante che evita lo spostamento nella tonalità di contrasto e quindi nella ripresa il tema principale e quello secondario vengono proposti entrambi nella tonalità di impianto e la coda porta alla conclusione della composizione.

1.11.1 Musica pop

La musica pop è tipicamente rappresentata tramite una sola linea melodica, quella della melodia principale, accompagnata da una indicazione dell'armonia (accordi da utilizzare). Tale rappresentazione è una semplificazione di quello che poi viene effettivamente suonato: l'arrangiamento infatti è un aspetto cruciale che determina (buona) parte del risultato finale. Tuttavia, per i nostri scopi questa semplificazione in melodia più armonia, ci aiuta nella gestione di questo tipo di brani.

La Figura 1.11 riporta un frammento della partitura di Memory, un famoso brano di Andrew Lloyd Webber tratto dal musical Cats.

La Figura 1.12, invece, mostra lo spartito di *O sole mio*. Il brano è composto da un'introduzione (I), una strofa (S) e un ritornello (R) con strofa e ritornello che si ripetono per 2 volte, quindi la forma di questo brano può essere schematizzata con ISRSR. Anche nella loro lunghezza questi 3 elementi seguono una struttura ben definita: l'introduzione è di 8 battute, mentre sia la strofa che il ritornello sono lunghi 16 battute. Organizzare la musica in gruppi di 8 battute è molto tipico della musica pop, e non solo. Si noti come anche il tema musicale di Memory sia di 8 battute.

Oltre alla lunghezza delle frasi musicali e all'organizzazione in strofa e ritornello, e a volte introduzioni o anche altre parti, come code oppure ponti (*bridge*), ci sono anche altre caratteristiche che sono comuni. Una di queste è la struttura armonica, cioè la sequenza di accordi



Figura 1.11: La melodia e l'armonia del brano Memory.

The image displays a musical score for the song "O sole mio". It is divided into three sections, each enclosed in a green box. The first section is labeled "I" and contains measures 1-8. The second section is labeled "S" and contains measures 11-19. The third section is labeled "R" and contains measures 27-35. Each section shows the melody and harmony. The chords indicated above the staff are G, D₇, A_m, G, D₇, G, A_m, G, D₇, G, D₇, G, C_m, G, D₇, G, and G. The score is numbered 11, 19, 27, and 35 at the beginning of each section. The final section includes a first ending (1.) and a second ending (2.).

Figura 1.12: Melodia, armonia e struttura di *O sole mio*.

utilizzati per accompagnare la melodia. Un esempio semplice è il cosiddetto *giro di Do*. La sequenza di accordi utilizzata è Do, Lam, Fa (oppure Rem), Sol o, più genericamente, gli accordi di I, vi, IV (oppure ii) e V grado. I brani di musica pop che sfruttano questa struttura armonica sono innumerevoli. Alcuni esempi: Sapore di sale (Gino Paoli), Il cielo in una stanza (Gino Paoli), Ti amo (Umberto Tozzi), Il gatto e la volpe (Eduardo Bennato), Viva la mamma (Eduardo Bennato), Stand by me (Ben E. King), Every breath you take (Police).

La sequenza di accordi usata nel *giro di Do* deriva da osservazioni più generali riguardo a quali sequenze di accordi funzionano meglio di altre. Approfondiremo questo discorso nella Sezione 1.12.

1.11.2 Corale

Una particolare forma musicale della musica classica è quella definita *corale*. In un corale ci sono tipicamente 4 linee melodiche che si sviluppano in sinergia. Il nome deriva dal fatto che la musica corale è pensata per essere eseguita da un coro in cui ci sono 4 voci, dette *soprano*, *contralto*, *tenore* e *basso*, che corrispondono grossolanamente alle estensioni vocali delle persone. Le voci possono salire a 6 se si considerano anche le estensioni vocali intermedie fra soprano e contralto, il *mezzosoprano* e fra il tenore e il basso, il *baritono*. Con gli strumenti si possono avere anche più di 6 voci. Il numero di voci non è prettamente legato alle estensioni, ma alle diverse linee melodiche. Per un corale abbiamo esattamente 4 linee melodiche.

La figura 1.13 mostra le prime battute del corale BWV66.6 di J.S.Bach.



Figura 1.13: Le prime battute del corale BWV 66.6 di J.S. Bach.

1.11.3 Regole sul movimento delle voci

In una composizione in cui più voci si muovono simultaneamente, come ad esempio in un corale, ci sono delle regole che restringono il movimento delle voci. Non sono regole ferree ma derivano dalla buona pratica musicale sono tipiche della musica classica.

Moto delle parti

Se consideriamo 2 linee melodiche simultane possiamo distinguere 3 modalità per il loro movimento reciproco. Due linee melodiche procedono per moto parallelo (o retto) se entrambe le voci salgono oppure scendono. Procedono per moto contrario se una sale e l'altra scende. Infine procedono per moto obliquo se una si muove e l'altra rimane ferma.

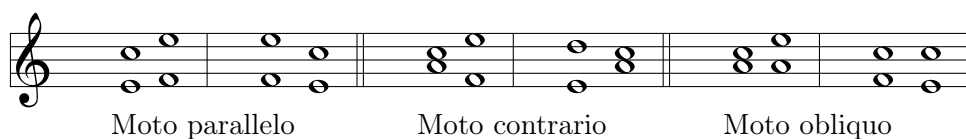


Figura 1.14: Moto delle parti

Errori nel movimento delle parti

Due voci che procedono simultaneamente devono procedere evitando delle disposizioni che producono effetti sgradevoli. Gli errori riguardano le consonanze perfette, cioè l'unisono, la quinta e l'ottava. Possono essere più (errori reali) o meno (errori nascosti) gravi. Gli errori reali si hanno quando le due voci procedono parallelamente con lo stesso intervallo.



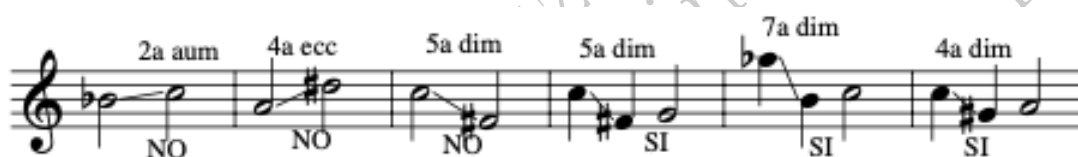
Meno grave ma sempre da evitare sono gli intervalli delle consonanze perfette a meno che non vengano raggiunti con una delle due voci che procede per gradi congiunti.



Per approfondimenti si veda un libro di armonia (es. Mazzotta)

Salti melodici vietati

All'interno di una singola linea melodica è buona prassi evitare tutti i salti melodici diminuiti ed eccedenti. Sono consentiti i salti diminuiti se sono discendenti e cadono sulla sensibile che va alla tonica. Inoltre vanno evitati anche il salto di 7^a sia minore che maggiore e anche due salti successivi che sommati formano una 7^a. Il salto di 8^a è possibile purché la linea melodica cambi direzione dopo il salto.



1.12 Successioni armoniche tipiche

Non esistono delle regole che possano determinare le successioni armoniche delle composizioni. Tuttavia è possibile individuare delle successioni tipiche. Le seguenti successioni tipiche sono riportate in Piston [pag. 21, pag 45].

Nel modo maggiore:

- Il I grado è seguito dal IV o dal V, a volte dal VI; meno sovente dal II o dal III
- Il II grado è seguito dal V, a volte dal IV o dal VI; meno sovente dal I o dal III
- Il III grado è seguito dal VI o dal IV; meno sovente dal I, II o dal V
- Il VI grado è seguito dal V o dal I o dal II; meno sovente dal III o dal VI
- Il V grado è seguito dal I o dal IV o dal VI; meno sovente dal II o dal III
- Il VI grado è seguito dal II o dal V, a volte dal III o dal VI; meno sovente dal I
- Il VII grado è seguito dal I o dal III, a volte dal VI; meno sovente dal II, IV o V

Per il modo minore valgono gli stessi criteri con qualche differenza:

- Il I grado può essere seguito dalla triade maggiore del VII grado
- La triade maggiore del III grado può essere seguita dalla triade maggiore del VII grado
- La triade maggiore del VII grado è seguita dal III, a volte dal VI; più raramente dal IV
- La triade diminuita del VII è seguita dal I

Alcune di queste successioni armoniche sono talmente tipiche da avere dei nomi specifici.

- *Cadenza autentica*: V-I, allargata anche alle successioni II-V-I oppure IV-V-I. La cadenza autentica viene detta anche perfetta quando gli accordi di V e I prevedono la nota fondamentale al basso e la tonica è nella voce del soprano, cioè quella più acuta. La cadenza perfetta è una tipica chiusura di un brano musicale.
- *Cadenza sospesa*: una successione che “termina” sul V grado. Facendo un parallelo letterario, la cadenza sospesa si può paragonare ad una virgola del discorso, in quanto lascia intendere che ci sarà un prosieguito.
- *Cadenza plagale*: IV-I e, nella maggior parte dei casi, viene usata dopo una cadenza autentica.
- *Cadenza a inganno*: V-VI. Si chiama a inganno in quanto la dominante porta l’aspettativa di una cadenza autentica, ma al posto del I grado viene proposto il VI.

Le Tabelle 1.4 e 1.5 forniscono una sintesi.

Maggiore	Successione			
Grado	spesso	a volte	raramente	mai
$I \rightarrow$	I, IV, V	vi	ii, iii	vii°
$ii \rightarrow$	ii, V	IV, vi	I, iii	vii°
$iii \rightarrow$	iii, vi	IV	I, ii, V	vii°
$IV \rightarrow$	IV, V	I, ii	iii, vi	vii°
$V \rightarrow$	I, V	IV, vi	ii, iii	vii°
$vi \rightarrow$	ii, V, vi	iii, IV	I	vii°
$vii^\circ \rightarrow$	I, iii, vii°	vi	ii, IV, V	—

Tabella 1.4: Successioni tipiche nel modo maggiore. Il simbolo — indica che non ci sono accordi nella corrispondente classe.

Minore	Successione			
<i>Grado</i>	<i>spesso</i>	<i>a volte</i>	<i>raramente</i>	<i>mai</i>
$i \rightarrow$	i, iv, V	VI	$ii^{\circ}, III, vii^{\circ}$	VII
$ii^{\circ} \rightarrow$	ii°, V	IV, VI	i, III	vii°
$III \rightarrow$	III, VI	iv	i, ii°, V	vii°
$iv \rightarrow$	iv, V	i, ii°	III, VI	vii°, VII
$V \rightarrow$	i, V	IV, VI	ii°, III	vii°, VII
$VI \rightarrow$	ii°, V, VI	III, iv	i	vii°, VII
$vii^{\circ} \rightarrow$	i	—	vii°	—
$VII \rightarrow$	III, VII	VI	iv	$i, ii^{\circ}, V, vii^{\circ}$

Tabella 1.5: Successioni tipiche nel modo minore. Il simbolo — indica che non ci sono accordi nella corrispondente classe.

1.13 Metriche di valutazione

Un algoritmo è una sequenza ben definita di istruzioni che partendo da un input fornisce un output. L'output è collegato all'input in quanto l'input rappresenta l'istanza di un problema e l'output rappresenta una soluzione al problema. Un problema può essere di tipo decisionale: in questo caso l'output è binario, cioè è o un *si* oppure un *no*. Un esempio di problema decisionale è il seguente: un dato numero x è primo? Un esempio di istanza di questo problema è: il numero 278938829187238921 è un numero primo? Un altro tipo di problema è quello di ricerca della (o di una) soluzione; in questo caso l'output è la soluzione o una delle possibili soluzioni al problema. Un esempio di problema di ricerca della soluzione è il seguente: dato un insieme di numeri trovare il valore massimo. Una istanza di questo problema è: dato l'insieme $\{23, 5, 46, 7, 22, 54, 34, 45, 51\}$ qual è il massimo? Un problema può essere di *ottimizzazione*; in questo caso l'output è la *migliore* soluzione. Un esempio di problema di ottimizzazione è: dato un punto di partenza e un punto di arrivo trovare la strada più breve. Un esempio di istanza di questo problema è: per andare da Taranto a Genova quale è la strada più breve?

Che tipo di problema è quello della composizione musicale? È un problema decisionale? Di ricerca di una soluzione? Di ottimizzazione? Forse sarebbe addirittura giusto chiedersi se è un problema! La risposta a quest'ultima domanda, almeno nel contesto in cui stiamo parlando è ovviamente sì, nel senso che se così non fosse, la discussione finirebbe qui. Quindi diciamo che *vogliamo* vedere la composizione musicale come un problema matematico da risolvere con un algoritmo. A questo punto diventano lecite le altre domande.

Sicuramente non è un problema decisionale. Sarebbe troppo facile essere compositore se le uniche possibili composizioni fossero solo la composizione “sì” e quella “no”. Fortunatamente la

musica dà ampio spazio alla creatività permettendo la creazione di infinite possibili composizioni. Ci possono essere composizioni belle, composizioni meno belle, composizioni meravigliose, decisamente brutte, mediocri, ottime, etc. Inoltre una composizione può essere bella, piacevole per una persona e meno bella per un'altra persona. Cioè la valutazione è soggettiva. Possiamo vedere il problema della composizione automatica come un problema di ricerca di una soluzione? Oppure è un problema di ottimizzazione?

La risposta non è facile. Il problema di fondo è dovuto al fatto che gli algoritmi possono risolvere problemi matematicamente ben formulati mentre il problema della composizione musicale non ha una definizione formale. Un problema di ottimizzazione è legato alla presenza di una metrica che permetta di confrontare due soluzioni per stabilire quale delle due è migliore o se sono equivalenti. Sfortunatamente (o forse fortunatamente) per le composizioni musicali non esiste una metrica che permetta di dire che una composizione è "migliore" di un'altra. È migliore la musica di Beethoven, o quella di Bach? Quella dei musical di Broadway o quella dei gruppi rock? Si potrebbe rispondere che sono tutti generi e/o stili diversi quindi un confronto non ha molto senso. Ma anche stabilendo un preciso genere musicale e un preciso tipo di composizione il problema rimane. Quale è la "migliore" fra le nove sinfonie di Beethoven? Di fatto non esiste una metrica formale che permetta di dire che una composizione è migliore di un'altra. Questo rende difficile considerare il problema della composizione come un problema di ottimizzazione. A dire il vero non esiste nemmeno una definizione che permetta di dire che un insieme di note costituisce una composizione mentre un altro insieme no. E questo rende difficile considerare il problema della composizione musicale come un problema di ricerca di una soluzione. Siamo quindi in un vicolo cieco? Comporre è esclusivamente un'arte ed un procedimento automatico non può servire a niente o comunque non a molto? Una facile risposta a questa domanda è "sì". Tuttavia l'uso di algoritmi per la composizione musicale automatica è molto intrigante e non pochi sono coloro, sia musicisti che non, che si sono cimentati con questo dilemma. I recenti sviluppi dell'intelligenza artificiale hanno dimostrato come anche in questo campo, e più in generale in quella della creatività, l'uso di procedimenti automatici può portare a risultati sorprendenti.

Ovviamente per affrontare algoritmicamente il problema della composizione musicale è necessario usare una metrica che misuri la "bontà" di una composizione. Abbiamo però appena detto che una tale metrica non esiste. Vero. Ma esistono delle regole ben formulate che vengono utilizzate dai compositori nella creazione delle opere musicali. Tali regole possono in qualche modo costituire la base per la definizione di una metrica di valutazione. Nel prosieguo vedremo come definire delle metriche di valutazione.

Esercizi

1. Quale è (approssimativamente) la velocità di trasmissione del suono nell'aria? Ci sono fattori che la influenzano?
2. Quale è (approssimativamente) l'intervallo di frequenze percepite dall'orecchio umano? E quello che si può produrre con un pianoforte?
3. Quale è l'unità di misura per l'intensità di un suono? Quali sono i valori approssimativi per un ambiente molto silenzioso e per un ambiente molto rumoroso?
4. Una nota con frequenza $2f$ viene detta *ottava* della nota con frequenza f e il termine *ottava* indica anche l'insieme delle note le cui frequenze sono nell'intervallo f e f . Perché si usa l'8 per il nome visto che la frequenza ha una relazione con un 2?
5. Quali sono le principali caratteristiche di un suono? Cosa determina ognuna di esse?
6. Che cosa è la forma d'onda di un suono?
7. Si scriva una funzione con dominio \mathbb{Z} e codominio \mathbb{R} che fornisca tutte le ottave di una data frequenza di riferimento f_r .
8. Si scriva una funzione con dominio $\{1, 2, \dots, 12\}$ e codominio \mathbb{R} che fornisca i 12 semitoni di un'ottava a partire da una frequenza di riferimento f_r nel sistema ben temperato.
9. Siano n_1, n_2, \dots, n_i gli intervalli, misurati in semitoni, di una scala musicale che copre un'ottava. Quanto vale la loro somma $\sum_{j=1}^i n_i$? Perché?
10. Che cosa è la scala cromatica?
11. Siano f_1 e f_2 le frequenze di due suoni. Supponendo che f_1 e f_2 differiscono di pochi Hz, quando è più facile distinguere le due note? Quando le due frequenze sono basse o quando le due frequenze sono alte? Perché?
12. In una rappresentazione della musica su un sistema di assi cartesiani cosa viene rappresentato sugli assi? E a cosa corrisponde una nota in una tale rappresentazione?
13. Volendo rappresentare una musica su assi cartesiani in cui l'asse (orizzontale) delle ascisse rappresenta il tempo, a quale asse associeresti la melodia e a quale asse l'armonia?
14. Che cosa è il pentagramma?
15. Facendo un parallelo matematico, quale è la funzione delle chiavi musicali rispetto al pentagramma?
16. Quali sono i simboli usati per determinare la durata delle note?
17. Come viene specificata la metrica di uno spartito musicale? Si faccia un esempio.
18. Fornisci una descrizione in termini di numero di semitoni fra i gradi di tutte le scale che conosci.
19. Spiega cosa sono gli intervalli aumentati e diminuiti. Fai un esempio.
20. Fornisci una caratterizzazione degli accordi maggiori, minori, diminuiti e aumentati in termini di intervalli di semitoni.

21. Si faccia qualche esempio di successioni di accordi tipiche.
22. Da quante voci è formato un corale? E come si chiamano?
23. Che cosa si intende per moto parallelo, contrario e obliquo delle voci?
24. Si faccia qualche esempio di errori nel movimento delle voci (parti).
25. Esiste una metrica formale per valutare una composizione musicale?

Composizione Musicale Algoritmica
Dipartimento di Informatica
UniSa - A.A. 2024-2025
Prof. De Prisco