

# SCALE

*Chi ha stabilito i rapporti d'altezza fra le note musicali? Chi ha stabilito che le note sono sette e i semitoni dodici? Il Do# è uguale al Reb? Se sono diversi qual è più alto? È più alto il La o il Si b? Perché gli strumenti ad arco non hanno i tasti come la chitarra, il banjo e il mandolino?*

---

# SISTEMI MUSICALI

---

## Origine delle note

La musica è una forma d'espressione universale, praticata da tutte le culture sin dai tempi più remoti. Quest'attività implica l'impiego delle note musicali, le cui frequenze seguono una logica che è stata compresa scientificamente solo nel '700 con la scoperta del fenomeno armonico. Possiamo quindi dedurre che le note furono scoperte empiricamente (in sostanza ad "orecchio"), perché sono impresse in una qualità dell'essere umano, e che la pratica musicale ha originato il concetto d'intervallo. Dalla natura umana, quindi, nacquero le note con i relativi intervalli, e in seguito gli studiosi cercarono di teorizzarne la logica ed elaborarono i sistemi musicali. Ogni sistema musicale ha un suo procedimento matematico per risalire all'altezza delle note, al numero dei gradi, all'entità degli intervalli, ma per tutti, la scala è la divisione in gradi dell'ottava e ciò dimostra che il concetto e l'entità di quest'intervallo devono essere necessariamente anteriori a qualsiasi teoria.

## Divisione dell'ottava

Pitagora (560 a.C. – 480 a.C.) teorizzò la prima scala conosciuta della cultura occidentale, basata sulla successione di quinte giuste, ma lo stesso procedimento fu impiegato, molto tempo prima dalla civiltà Cinese (1000 a.C.). Da notare che popoli molto lontani e privi di contatti fra loro, arrivarono autonomamente allo stesso risultato. Questa scala, quasi perfetta e di semplice realizzazione, fu impiegata per due millenni, in tutto il periodo in cui la musica era costituita da un'unica linea melodica (monodia), ma l'evoluzione musicale, nel corso dei secoli, portò alla polifonia (più linee melodiche contemporanee che generavano gli accordi), quindi all'esecuzione simultanea di più note e alcuni intervalli della scala pitagorica, in particolare le terze e le seste, richiesero una rettifica. Solo le quarte, le quinte e l'ottave erano intervalli ritenuti consonanti.

Verso la metà del '500, con l'avvento della musica tonale, si affermò la scala dei rapporti semplici, realizzata dallo Zarlino, ma ideata da Archita (IV° secolo a.C.) altro teorico greco, il quale, molto probabilmente non soddisfatto della scala ufficiale, elaborò un procedimento che rendeva le terze e le seste più gradevoli al suo orecchio. Questa scala è chiamata oggi naturale perché i suoi gradi coincidono con le frequenze derivate dai suoni armonici, e quindi più adatta per la realizzazione degli accordi. Perfetta dal punto di vista prettamente musicale, la sua attuazione su strumenti ad intonazione fissa, come quelli a tastiera, è irrealizzabile perché richiederebbe un numero enorme di tasti.

Alla fine del '600, Andreas Werckmeister, organista e teorico tedesco, inventò la scala temperata risolvendo ogni problema: l'ottava è stata divisa in dodici semitoni perfettamente uguali, ma tutti gli intervalli sono leggermente falsati, ad eccezione di quello d'ottava.

Vedremo ora come realizzare le tre scale avendo come base un Do di 24 Hz al fine di rendere più semplice la numerazione.

## Scale

### ***Suoni armonici***

*Le vibrazioni di corpi sonori sono molto complesse e danno origine al fenomeno armonico: ad ogni frazione precisa del corpo vibrante, quindi ad un mezzo, un terzo, un quarto, ecc., si formano dei punti nodali che generano altri suoni più deboli di volume, le cui frequenze sono i multipli di quella del suono fondamentale. Questi suoni sono definiti armonici oppure, intesi come frequenze, armoniche.*

*Un suono di 100 Hz, considerato come prima armonica, ha la seconda di 200 Hz, la terza di 300 Hz, la quarta di 400 Hz, la quinta di 500 Hz, ecc.*

*I corpi sonori che non rispettano questa regolare progressione aritmetica generano il suono indeterminato, che ha un'altezza incerta perché l'insieme delle sue armoniche formano un "accordo stonato". In un corpo che vibra in modo regolare le prime sei armoniche formano l'accordo perfetto maggiore.*

#### LE PRIME 20 ARMONICHE

N°	F	O↓	O↓	O↓	O↓	Nota	cent
20 <sup>a</sup>	480	240	120	60	30	Mi	
19 <sup>a</sup>	456	228	114	57	28,5	Re#	+23
18 <sup>a</sup>	432	216	108	54	27	Re	
17 <sup>a</sup>	408	204	102	51	25,5	Do#	+34
16 <sup>a</sup>	384	192	96	48	24	Do	
15 <sup>a</sup>	360	180	90	45		Si	
14 <sup>a</sup>	336	168	84	42		La#	+14
13 <sup>a</sup>	312	156	78	39		La	-44
12 <sup>a</sup>	288	144	72	36		Sol	
11 <sup>a</sup>	264	132	66	33		Fa	+53
10 <sup>a</sup>	240	120	60	30		Mi	
9 <sup>a</sup>	216	108	54	27		Re	
8 <sup>a</sup>	192	96	48			Do	
7 <sup>a</sup>	168	84	42			La#	+14
6 <sup>a</sup>	144	72	36			Sol	
5 <sup>a</sup>	120	60	30			Mi	
4 <sup>a</sup>	96	48				Do	
3 <sup>a</sup>	72	36				Sol	
2 <sup>a</sup>	48					Do	
1 <sup>a</sup>	24					Do	

*Nella prima colonna le armoniche e nella seconda le rispettive frequenze. Le colonne "O↓" indicano l'abbassamento di ottava (frequenza / 2). La colonna cent (centesimi di semitono) indica la differenza rispetto alla nota della scala naturale. Per semplificare la numerazione è stato adottato un ipotetico Do di 24 Hz.*



### Intervalli

Abbiamo adesso le sette note della scala diatonica naturale, ma non ancora l'entità delle alterazioni cromatiche (diesis e bemolli). Valutiamo, tramite i soliti rapporti, gli intervalli fra le sette note e ne ricaviamo la seguente tabella.

g	Hz	Rapporto	Intervallo	cent
Do	48			
Si	45	$48/45 = 16/15$	Semitono	112
La	40	$45/40 = 9/8$	Tono maggiore	204
Sol	36	$40/36 = 10/9$	Tono minore	182
Fa	32	$36/32 = 9/8$	Tono maggiore	204
Mi	30	$32/30 = 16/15$	Semitono	112
Re	27	$30/27 = 10/9$	Tono minore	182
Do	24	$27/30 = 9/8$	Tono maggiore	204

Analizzando i rapporti fra le note congiunte della scala, le seconde, possiamo notare tre tipi diversi d'intervallo:

- 1) Do-Re, Fa-Sol e La-Si hanno un rapporto di  $9/8$  (204 cent), il *tono maggiore*;
- 2) Re-Mi e Sol-La hanno un rapporto di  $10/9$  (182 cent), il *tono minore*;
- 3) Mi-Fa e Si-Do hanno un rapporto di  $16/15$  (112 cent), il *semitono*;

Il rapporto fra il tono maggiore e quello minore,  $9/8 : 10/9 = 81/80$ , è il cosiddetto *comma sintonico* che corrisponde a 22 cent, che è l'intervallo più piccolo del sistema.

Il rapporto fra il tono minore e il semitono,  $10/9 : 16/15 = 25/24$  (71 cent) da origine ad un nuovo intervallo, più piccolo del semitono, che costituirà l'entità delle alterazioni cromatiche: il *semitono minore o cromatico*. Per ottenere i bemolli e i diesis è sufficiente dividere o moltiplicare la frequenza della nota da alterare per  $25/24$ .

#### ***Tipi d'intervallo della scala naturale***

*Tono maggiore (204 cent)*

*Tono minore (182 cent)*

*Semitono maggiore o diatonico (112 cent)*

*Semitono minore o cromatico (71\* cent)*

*Comma sintonico (22\* cent)*

\* Valori approssimati per eccesso

**Cent**

La frequenza del suono, raddoppiando ad ogni ottava, ha una progressione esponenziale, pertanto il sistema di misurazione degli intervalli deve rispettare la stessa logica.

Il cent, inventato alla fine del '800 dallo scienziato inglese Alexander Ellis, è oggi l'unità di misura ufficiale degli intervalli, corrisponde ad un centesimo di semitono della scala temperata e si ottiene dividendo il rapporto d'ottava (2/1) in 1200 parti uguali: radice milleduecentesima di due.

## SCALA CROMATICA NATURALE

Nota	f	r	cent
<b>Do</b>	<b>48,00</b>	<b>2/1</b>	<b>1.200</b>
Si#	46,88	125/64	1.159
Dob	46,08	48/25	1.129
<b>Si</b>	<b>45,00</b>	<b>15/8</b>	<b>1.088</b>
Si♭	43,20	9/5	1.018
La#	41,67	125/72	955
<b>La</b>	<b>40,00</b>	<b>5/3</b>	<b>884</b>
La♭	38,40	8/5	814
Sol#	37,50	25/16	773
<b>Sol</b>	<b>36,00</b>	<b>3/2</b>	<b>702</b>
Sol♭	34,56	36/25	631
Fa#	33,33	25/18	569
<b>Fa</b>	<b>32,00</b>	<b>4/3</b>	<b>498</b>
Mi#	31,25	125/96	457
Fa♭	30,72	32/25	427
<b>Mi</b>	<b>30,00</b>	<b>5/4</b>	<b>386</b>
Mi♭	28,80	6/5	316
Re#	28,13	75/64	275
<b>Re</b>	<b>27,00</b>	<b>9/8</b>	<b>204</b>
Re♭	25,92	27/25	133
Do#	25,00	25/24	71
<b>Do</b>	<b>24,00</b>	<b>1/1</b>	<b>0</b>

Le colonne riportano il nome della nota, la frequenza, il rapporto con la prima e lo stesso espresso in cent. I valori indicati sono approssimati per eccesso.

Per convertire un qualsiasi rapporto (r) fra due frequenze in cent la formula è la seguente:

$$\text{cent} = \text{Log}_{10} r (1200/\text{Log}_{10} 2)$$

Un orecchio educato può percepire la differenza di due cent, ma, nella pratica musicale, imperfezioni d'intonazione fino a  $8 \div 10$  cent sono ampiamente tollerate.

Il comma, usato dagli antichi teorici per valutare gli intervalli, non è adatto come unità di misura a causa della sua natura aritmetica, e lo dimostra che nessun intervallo può essere frazionato equamente in comma.

## INTERVALLI DELLA SCALA NATURALE

g	Hz	Rapporto	Intervallo	cent
Do	48	48/24 = 2/1	Ottava	1200
Si	45	45/24 = 15/8	Settima	1088
La	40	40/24 = 5/3	Sesta	884
Sol	36	36/24 = 3/2	Quinta	702
Fa	32	32/24 = 4/3	Quarta	498
Mi	30	30/24 = 5/4	Terza	386
Re	27	27/24 = 9/8	Seconda	204
Do	24			

### Altre tonalità

La scala naturale realizzata è derivata dalle armoniche della nota Do ed è caratterizzata dalla sequenza di toni maggiori (T), toni minori (t) e semitoni (s) il cui ordine è il seguente:

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

Volendo realizzare la scala partendo con un'altra nota, ad esempio il Re, la sequenza degli intervalli è alquanto diversa, pertanto più note dovranno essere ritoccate.

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

Ad esempio, la nota Mi, nella scala di Re maggiore, dovrà essere innalzata di un comma per formare il tono maggiore con la prima e così via. Per ogni tonalità si presenta questo problema e da quelle che hanno origine dalle note alterate, per ottenere variazioni cromatiche, occorrono anche i doppi diesis e i doppi bemolli.

Questa scala non costituisce un problema per il canto e per gli strumenti ad arco, viceversa è praticamente irrealizzabile su uno strumento a tastiera, perché per ogni ottava occorrerebbero:

- 7 tasti per le note naturali;
- 7 per i diesis;
- 7 per i bemolli;
- 7 per i doppi diesis;
- 7 per i doppi bemolli.

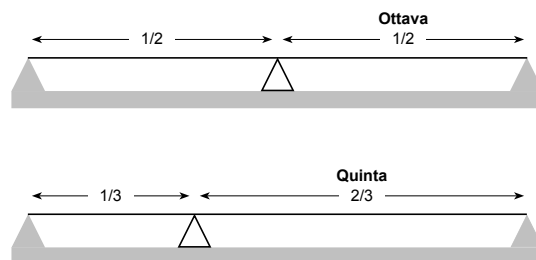
Con 35 tasti per ogni ottava ancora il problema è irrisolto, a causa dei toni e semitoni che possono essere maggiori e minori.

<b><i>Scala di re maggiore</i></b>	
<i>Nella tabella sono indicate le frequenze della scala naturale di Re maggiore. Da notare che le note Mi e La, che nella scala di Do avevano una frequenza di 30 e 40 Hz, sono ora un comma (22 cent) più alte. In tutte le altre tonalità si deve sempre ritoccare l'intonazione delle note naturali.</i>	Nota
	Hz
	Re
	Do#
	Si
	La
	Sol
	Fa#
Mi	
	54,000
	50,625
	45,000
	40,500
	36,000
	33,750
	30,375

## Scala pitagorica

La scala pitagorica è molto semplice da calcolare poiché sono sufficienti solo due dati: i rapporti con l'ottava e con la quinta.

Pitagora sperimentava sul monocordo, uno strumento costituito da una corda tesa da un peso e da un ponticello mobile. Egli constatò che posizionando il ponticello nel centro della corda essa produceva l'ottava, e ad un terzo la quinta, e ne ricavò i rapporti: 1/2 per l'ottava, 2/3 (parte vibrante della corda) per la quinta. Questi due dati sono sufficienti per l'elaborazione della scala.



Da una lunghezza  $x$  se ne ricava una nota,  $1/2x$  l'ottava e  $2/3x$  la quinta, e per procedimento inverso  $2x$  e  $3/2x$  si risale all'ottava e la quinta inferiori. Questi rapporti si riferiscono alla lunghezza della corda, dal punto di vista della frequenza devono essere invertiti: 2/1 per l'ottava e 3/2 per la quinta.

Partendo da un Do se ne ricava l'ottava che costituisce il limite della scala. Con una successione di quinte ascendenti si ricavano le altre note, e si abbassano d'ottava fino a che non rientrano nell'ambito della scala.

Do → Sol → Re → La → Mi → Si → Fa# → Do# → Sol# → Re# → La# → Mi# → Si#

Col procedimento inverso si trovano le restanti note.

Fa → Sib → Mib → Lab → Reb → Solb → Dob → Fab

### CALCOLO DELLA SCALA PITAGORICA

Nota	Cambi d'ottava						
Si#	3.113,91	1.556,96	778,48	389,24	194,62	97,31	48,65
Mi#	2.075,94	1.037,97	518,99	259,49	129,75	64,87	32,44
La#	1.383,96	691,98	345,99	173,00	86,50	43,25	
Re#	922,64	461,32	230,66	115,33	57,67	28,83	
Sol#	615,09	307,55	153,77	76,89	38,44		
Do#	410,06	205,03	102,52	51,26	25,63		
Fa#	273,38	136,69	68,34	34,17			
Si	182,25	91,13	45,56				
Mi	121,50	60,75	30,38				
La	81,00	40,50					
Re	54,00	27,00					
Sol	36,00						
<b>Do</b>	<b>24,00</b>						
Fa	16,00	32,00					
Sib	10,67	21,33	42,67				
Mib	7,11	14,22	28,44				
Lab	4,74	9,48	18,96	37,93			
Reb	3,16	6,32	12,64	25,28			
Solb	2,11	4,21	8,43	16,86	33,71		
Dob	1,40	2,81	5,62	11,24	22,47	44,95	
Fab	0,94	1,87	3,75	7,49	14,98	29,97	

### GRADI DELLA SCALA PITAGORICA

g	Hz	r	Intervallo	cent
Do	48			
Si	45,56	59/56	Semitono	90
La	40,5	9/8	Tono	204
Sol	36	9/8	Tono	204
Fa	32	9/8	Tono	204
Mi	30,38	59/56	Semitono	90
Re	27	9/8	Tono	204
Do	24	9/8	Tono	204

La tabella affianco mostra le frequenze della scala pitagorica con i relativi cambi d'ottava per rientrare nei limiti della scala.

### Scala pentafonica

Le note della scala pentafonica, ritenute le più efficaci da diverse antiche culture, sono le prime cinque che si ricavano con la progressione di quinte. Le due note in più, per ottenere la scala eptafonica sono, in pratica, la quinta inferiore e quella superiore della base pentafonica.

Fa ← Do Sol Re La Mi → Si

Questa scala è caratterizzata dalla sequenza di intervalli di seconda maggiore e terza minore e quindi dall'assenza dei semitoni.

I°	Do	Re	Mi	Sol	La	Do
II°	Re	Mi	Sol	La	Do	Re
III°	Mi	Sol	La	Do	Re	Mi
IV°	Sol	La	Do	Re	Mi	Sol
V°	La	Do	Re	Mi	Sol	La

I cinque modi della scala pentafonica. Il primo ed il quinto sono impiegati nel blues definiti rispettivamente "scala maggiore" e "scala minore".

### SCALA CROMATICA PITAGORICA

Nota	f	r	cent
<b>Do</b>	<b>48,00</b>	<b>2/1</b>	<b>1.200</b>
<b>Si</b>	<b>45,56</b>	<b>112/59</b>	<b>1.110</b>
Do <sup>b</sup>	44,95	118/63	1.086
La <sup>#</sup>	43,25	173/96	1.020
Si <sup>b</sup>	42,67	16/9	996
<b>La</b>	<b>40,50</b>	<b>27/16</b>	<b>906</b>
Sol <sup>#</sup>	38,44	8/5	816
La <sup>b</sup>	37,93	128/81	792
<b>Sol</b>	<b>36,00</b>	<b>3/2</b>	<b>702</b>
Fa <sup>#</sup>	34,17	84/59	612
Sol <sup>b</sup>	33,71	59/42	588
Mi <sup>#</sup>	32,44	50/37	522
<b>Fa</b>	<b>32,00</b>	<b>4/3</b>	<b>498</b>
<b>Mi</b>	<b>30,38</b>	<b>81/64</b>	<b>408</b>
Fa <sup>b</sup>	29,97	5/4	384
Re <sup>#</sup>	28,83	6/5	318
Mi <sup>b</sup>	28,44	32/27	294
<b>Re</b>	<b>27,00</b>	<b>9/8</b>	<b>204</b>
Do <sup>#</sup>	25,63	63/59	114
Re <sup>b</sup>	25,28	59/56	90
Si <sup>#</sup>	24,33	74/73	24
<b>Do</b>	<b>24,00</b>	<b>1/1</b>	<b>0</b>

### INTERVALLI

Intervallo	r	cent
Ottava	2/1	1200
Settima	112/59	1110
Sesta	27/16	906
Quinta	3/2	702
Quarta	4/3	498
Terza	81/64	408
Seconda	9/8	204

### Tipi d'intervallo della scala pitagorica

Tono (204 cent)

Semitono diatonico (90 cent)

Semitono cromatico (114 cent)

Comma ditonico (24\* cent)

\* Valori approssimati per eccesso

Il semitono cromatico di questa scala (114 cent), a differenza di quello naturale, è più alto di quello diatonico (90 cent). La differenza fra il Si<sup>#</sup> e il Do, 24,33 : 24 = 74/73, pari a 24 cent, costituisce il comma ditonico.

## Scala dei rapporti semplici

La scala dei rapporti semplici è identica a quell'originata dagli armonici, ed è interessante notare che fu realizzata senza avere la conoscenza del fenomeno armonico.

Il procedimento di Zarlino è fondato, in pratica, sulla rettifica del solo intervallo di terza, il cui rapporto con la prima, dal pitagorico  $81/64$  ( $1,265625 = \text{cent } 408$ ), passò a  $5/4$  ( $1,25 = \text{cent } 386$ ). I rapporti di  $2/1$ ,  $3/2$ ,  $4/3$  e  $5/4$ , rispettivamente per l'ottava, la quinta, la quarta (gli stessi pitagorici) e la nuova terza, sono sufficienti per elaborare la scala.

- Dal Do si ottiene il Mi e il Sol (III<sup>a</sup> e V<sup>a</sup>).
- Dal Sol si ottiene il Si e il Re (III<sup>a</sup> e V<sup>a</sup>).
- Sempre dal Do si ottiene il Fa (IV<sup>a</sup>) e da questa il La (III<sup>a</sup>).

Il rapporto fra la quinta e la terza ( $3/2 : 5/4$ ) è  $6/5$ , che corrisponde all'intervallo di terza minore. La differenza fra la terza maggiore e quella minore ( $5/4 : 6/5$ ) è  $25/24$ , questo valore costituisce la base per le alterazioni cromatiche della scala zarlinaiana.

## Scala temperata

La divisione in dodici semitoni uguali è il metodo teorico più semplice per dividere l'ottava, anche se gli intervalli generati non sono perfetti.

Il rapporto d'ottava è  $2/1$  e la sua divisione in dodici parti deve risultare un numero che moltiplicato per se stesso dodici volte, quindi elevato alla dodicesima potenza, deve restituire due, pertanto il semitono temperato è dato dalla radice dodicesima di due.

Per calcolare la scala temperata si moltiplica una frequenza  $x$  per radice dodicesima di due e si ricava il valore del semitono sopra. Si ripete lo stesso procedimento per ogni semitono trovato fino a raggiungere l'ottava della frequenza di partenza.

$$x (2^{1/12}) = x1 \rightarrow x1 (2^{1/12}) = x2 \rightarrow x2 (2^{1/12}) = x3 \rightarrow x3 (2^{1/12}) = x4 \rightarrow \text{ecc.}$$

Visto sotto il punto di vista della lunghezza di una corda, ad esempio per calcolare la posizione dei tasti ad un manico di chitarra, il procedimento dovrà essere contrario.

$$x / (2^{1/12}) = x1$$

In questo caso  $x$  è la lunghezza della corda,  $x1$  la distanza del primo tasto dal ponte.

GRADI DELLA SCALA TEMPERATA

g	Hz	r	Intervallo	cent
Do	48			
Si	45,305967	89/84	Semitono	100
La	40,3630279	55/49	Tono	200
Sol	35,9593698	55/49	Tono	200
Fa	32,0361565	55/49	Tono	200
Mi	30,2381052	89/84	Semitono	100
Re	26,9390892	55/49	Tono	200
Do	24	55/49	Tono	200

INTERVALLI

Intervallo	r	cent
Ottava	2/1	1200
Settima	185/98	1100
Sesta	37/22	900
Quinta	3/2	700
Quarta	4/3	500
Terza	63/50	400
Seconda	55/49	200

## Scale

### **Accordatura del pianoforte**

*Dividere una corda, o calcolare la lunghezza di una canna d'organo, in modo che possa produrre gli intervalli della scala temperata, è semplice, si deve solo affrontare il problema dei numeri decimali che inevitabilmente comporta il calcolo. Accordare un pianoforte (o un clavicembalo), che ha corde diverse per ogni singola nota, è molto più difficile perché l'orecchio umano concepisce solo gli intervalli naturali. Chi ha buon orecchio, ad esempio, può accordare una quinta giusta, ma quella temperata è due centesimi di semitono più bassa. Per ottenere gli intervalli temperati, gli unici che riescono a far coincidere i diesis con i bemolli, il Si# con il Do, ecc., si deve per forza ricorrere agli espedienti e all'esperienza del buon accordatore.*

FREQUENZE EFFETTIVE DELLA SCALA TEMPERATA

Nota	Ottava									
	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Si	30,87	61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1.975,53	3.951,07	7.902,13	15.804,27
La# - Sib	29,14	58,27	116,54	233,08	466,16	932,33	1.864,66	3.729,31	7.458,62	14.917,24
La	27,50	55,00	110,00	220,00	<b>440,00</b>	880,00	1.760,00	3.520,00	7.040,00	14.080,00
Sol# - Lab	25,96	51,91	103,83	207,65	415,30	830,61	1.661,22	3.322,44	6.644,88	13.289,75
Sol	24,50	49,00	98,00	196,00	392,00	783,99	1.567,98	3.135,96	6.271,93	12.543,85
Fa# - Solb	23,12	46,25	92,50	185,00	369,99	739,99	1.479,98	2.959,96	5.919,91	11.839,82
Fa	21,83	43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1.396,91	2.793,83	5.587,65	11.175,30
Mi	20,60	41,20	82,41	164,81	329,63	659,26	1.318,51	2.637,02	5.274,04	10.548,08
Re# - Mib	19,45	38,89	77,78	155,56	311,13	622,25	1.244,51	2.489,02	4.978,03	9.956,06
Re	18,35	36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1.174,66	2.349,32	4.698,64	9.397,27
Do# - Reb	17,32	34,65	69,30	138,59	277,18	554,37	1.108,73	2.217,46	4.434,92	8.869,84
Do	16,35	32,70	65,41	130,81	261,63	523,25	1.046,50	2.093,00	4.186,01	8.372,02

### **Qualche punto di riferimento**

*Il diapason produce il La<sub>3</sub>*

*La corda grave del contrabbasso e della chitarra basso intonano il Mi<sub>0</sub>*

*Il Mi basso della chitarra è il Mi<sub>1</sub>*

*L'estensione del pianoforte spazia dal La<sub>-1</sub> al Do<sub>7</sub>*

*Il Do<sub>-1</sub> è la nota più bassa impiegata nella musica ed è disponibile solo sui più grandi organi a canne*

## Conclusioni

Abbiamo visto le tre scale della nostra cultura, ognuna con i suoi pregi e difetti. Chi dispone di un sintetizzatore, può facilmente modificare l'intonazione delle note in modo da produrre le altre scale (ovviamente diatoniche) per costatare la differenza.

La scala pitagorica a livello melodico è accettabile, del resto la sua terza maggiore cresce solo di 8 cent nei confronti di quella temperata, e la sua sesta di 6 cent. A livello armonico invece si percepisce la dissonanza.

La terza maggiore della scala naturale ci sembrerà calante sotto l'aspetto melodico, anche perché il nostro orecchio si è abituato all'intervallo temperato che è ben 14 cent più alto. Dal punto di vista armonico, però, la terza naturale è perfetta e lo dimostra l'assenza di battimenti.

La scala ufficiale attuale è quella temperata, ma l'imperfezione dei suoi intervalli non sempre è tollerata. L'orchestra sinfonica, ad esempio, continua ad impiegare la scala naturale, infatti, gli strumenti ad arco, che costituiscono

la sua ossatura non hanno tasti. Gli ottoni (trombe, tromboni, corni e tube) possono ottenere le varie note solo generando le armoniche. I legni (flauti, oboi, clarinetti e fagotti), sebbene abbiano i fori calcolati per la scala temperata, dispongono di un'elasticità d'intonazione più che sufficiente per intonare i giusti intervalli.

CONFRONTO FRA I GRADI

Gradi	Naturale		Pitagorica		Temperata cent
	cent	dif.	cent	dif.	
Do	112	+12	90	-10	100
Si	204	+4	204	+4	200
La	182	-18	204	+4	200
Sol	204	+4	204	+4	200
Fa	112	+12	90	-10	100
Mi	182	-18	204	+4	200
Re	204	+4	204	+4	200
Do					

CONFRONTO FRA GLI INTERVALLI

Intervallo	Naturale		Pitagorica		Temperata cent
	cent	dif.	cent	dif.	
Ottava	1.200	=	1.200	=	1.200
Settima	1.088	-12	1.110	+10	1.100
Sesta	884	-16	906	+6	900
Quinta	702	+2	702	+2	700
Quarta	498	-2	498	-2	500
Terza	386	-14	408	+8	400
Seconda	204	+4	204	+4	200

*Nella tabella sono indicati i valori degli intervalli delle tre scale espressi in cent, e la differenza con quelli temperati. I sintetizzatori sono accordati con la scala temperata, ma dispongono dell'apposito controllo per ogni nota al fine di ottenere altre scale: è sufficiente impostare il controllo citato con i dati della tabella per ottenere la scala voluta.*