

# Il Temperamento: una questione scientifica e musicale

Sergio Giudici  
dip. di Fisica "Enrico Fermi"  
Università di Pisa

Il 27 Marzo 2014, presso i locali dell'Istituto Franci di Siena, sede del Liceo e del Conservatorio, si è tenuta una lezione/concerto dedicata alla questione del temperamento e delle accordature antiche, rivolta agli studenti. Nell'aula magna dell'Istituto erano sistemati due clavicembali i cui registri erano stati precedentemente accordati secondo i quattro temperamenti principali: pitagorico, mesotonico, ben temperato ed equabile, permettendo così di integrare il discorso teorico con esempi musicali dal vivo. L'allestimento prevedeva anche uno speciale monocordo, realizzato dal dipartimento di Fisica "Enrico Fermi" dell'università di Pisa, che permette di visualizzare il fenomeno degli ipertoni. La compresenza in aula di strumenti musicali e scientifici si è rivelata didatticamente efficace per illustrare il rapporto tra estetica musicale ed indagine scientifica del fenomeno del suono.

## Introduzione

Se consideriamo uno strumento musicale a tastiera ed uno strumento ad arco, un pianoforte ed un violino tanto per fissare le idee, una differenza è particolarmente interessante: nel pianoforte le note sono tutte già disponibili e pre-intonate ed è sufficiente abbassare un tasto per farle risuonare; nel caso del violino, invece, la nota non è altrettanto disponibile: il violinista deve costruirselo posizionando le dita in un punto preciso del manico del suo strumento. Il problema del violinista è dunque quello di sapere dove stanno le note. Come si stabilisce quando un suono è quello giusto? Il suono giusto - si dirà - è quello appartenente ad una certa scala musicale: ecco, dunque, il nocciolo della questione: come è definita una scala musicale?

## La questione scientifica

Le frequenze percepite dall'orecchio umano cadono nell'intervallo compreso tra 20 e 20000 Hz. Dal punto di vista percettivo la banda acustica è più estesa di quella ottica: i suoni che siamo in grado di udire variano entro tre ordini di grandezza, in confronto la banda della luce visibile è assai più limitata essendo compresa tra i 400 e i 790 THz. Questo fatto ha l'importante conseguenza che per molti suoni siamo in grado di udire anche certe frequenze multiple o sottomultiple. Preso un suono comodo per l'orecchio, ad esempio il LA corrispondente alla frequenza di 440 Hz, risultano udibili i suoni di frequenza doppia, quadrupla o anche la metà e un quarto. Questi suoni, ottenuti per raddoppi o dimezzamenti successivi, sono chiamati tutti LA e corrispondono ai LA delle diverse ottave. Ascoltare due suoni tali che il più acuto abbia frequenza doppia rispetto a quello grave produce una sensazione universalmente condivisa - almeno secondo quanto afferma l'etnomusicologia - di perfetta consonanza. Ascoltarli risuonare insieme o di seguito produce un effetto piacevole, talvolta perentorio, spesso utilizzato dai musicisti come risorsa espressiva. Si trovano molti esempi musicali con salti di ottava: tra i tanti si può citare l'attacco del *Nocturne pour violon et piano* di Lili Boulanger (1893-1918) in cui compare una figura costituita da una successione di DO spalmati su quattro ottave<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Si può ascoltare l'intero brano su youtube: <http://www.youtube.com/watch?v=57ifMZotkh4>. Lo stile del notturno è quello tipico dell'impressionismo derivato da Debussy e proseguito con Gabriel Fauré - amico di famiglia ed

à ma chère MARIE-DAISIELE PARENTEAU

## NOCTURNE

LILI BOULANGER  
21 août 1893 - 15 mars 1918

Se moltiplichiamo la frequenza di un suono per  $3/2$  otteniamo un nuovo suono chiamato "quinta" del suono iniziale perchè occupa il quinto grado nella scala musicale eptafonica<sup>2</sup>. Nella scala di LA (LA = 440 Hz), il quinto grado è la nota MI che ha una frequenza pari a  $440 \times 3/2 = 660$  Hz. Anche il bicordo di quinta (LA-MI) è percepito come consonante, sebbene lo sia meno rispetto a quello di ottava. Il quinto grado svolge un ruolo fondamentale nella grammatica della musica occidentale ed è chiamato 'dominante' dai teorici musicali. Fin qui abbiamo costruito solo due note: il LA e il MI. Per generare il resto della scala si può procedere attraverso il circolo delle quinte: dal MI possiamo generare il SI moltiplicando per  $3/2$ , oppure dal LA possiamo generare il RE dividendo per  $3/2$  e così via. Se tutto filasse liscio, percorrendo il circolo delle quinte si dovrebbe poter partire da un certo LA iniziale e dopo un numero finito di salti, ciascuno pari a  $3/2$ , si dovrebbe giungere ad un altro LA di una qualche ottava superiore. Le frequenze incontrate lungo il cammino definirebbero un insieme di note, una scala musicale, con le quali si potrebbero costruire consonanze perfette di ottava e di quinta. Sarebbe bello ma purtroppo non si può fare! Attenzione, non si può fare non perché non ne siamo tecnicamente capaci ma perché è matematicamente impossibile farlo, per lo stesso motivo per cui un tappo rotondo non può chiudere un buco quadrato. Il fatto è dimostrabile per assurdo: assumiamo che partendo da un LA, dopo  $n$  salti, ciascuno pari a  $3/2$ , si possa arrivare effettivamente ad uno qualunque dei tanti LA delle ottave superiori. Se questo fosse vero allora dovrebbero esistere due numeri interi  $n$  ed  $m$  tali che

$$\left(\frac{3}{2}\right)^n = 2^m$$

ovvero  $3^n = 2^{m+n}$ . Quest'ultima espressione è evidentemente assurda perchè a sinistra dell'uguale compare un numero intero necessariamente dispari mentre a destra abbiamo un intero necessariamente pari. Un numero non può essere contemporaneamente pari e dispari. Risulta dimostrato che è impossibile l'esistenza di una scala musicale in cui per ciascuna nota siano presenti anche le corrispondenti consonanze di ottava e quinta. Poiché la consonanza di ottava è

---

insegnante di composizione della Boulanger. Quando attacca il violino, la successione di "do" viene fatta "gocciolare" su un accordo di nona do-(mi)-(sol)-sib-re che dipinge la squisita atmosfera sfuggente e languida *fin de siècle*.

2 Si tratta della usuale scala di 7 note (DO-RE-MI-FA-SOL-LA-SI) che impariamo da bambini sulla quale si fonda il sistema musicale occidentale. Il primo grado DO si chiama Tonica, il terzo grado è il MI (modale) e il quinto è il SOL (dominante).

irrinunciabile, l'unico modo per procedere ulteriormente nella definizione della scala è rinunciare ad avere tutte le quinte perfette. Possiamo decidere di averne o solo qualcuna oppure nessuna. Una possibile soluzione - che di fatto è quella realizzata nella musica occidentale - consiste nel definire una scala musicale di 12 note (scala cromatica) tale che i 12 suoni - o meglio le loro frequenze - formino una progressione geometrica di ragione  $\sqrt[12]{2}$  in modo che partendo dalla prima nota della scala e salendo i 12 gradi che la compongono si termina sul suono avente frequenza doppia rispetto a quella del suono di partenza. La scelta di avere 12 gradi può sembrare arbitraria ed in effetti lo è. Altri sistemi musicali - come quello arabo - prevedono un numero diverso di gradi ed includono terzi di tono o quarti di tono. La scala cromatica definita come successione di 12 suoni in progressione geometrica contiene soltanto l'ottava come consonanza perfetta ed è chiamata "temperamento equabile" perchè ha la caratteristica di avere tutti gli intervalli leggermente imperfetti ma tutti uguali fra loro. A grandi linee, questa soluzione era già stata concepita dal teorico greco Aristosseno intorno al 320 A.C. ma è stata adottata nel nostro sistema musicale solo all'inizio del XX secolo. Il sistema equabile che ora sembra ovvio, è stato per lungo tempo rifiutato proprio perchè non contiene - a parte l'intervallo di ottava - consonanze perfette esprimibili come rapporti tra numeri interi. Nel sistema equabile, l'intervallo di quinta non corrisponde al rapporto  $3/2$  ma a  $\sqrt[12]{2^7} \approx 1.4983$ . La differenza tra quinta perfetta e quinta equabile è molto piccola e potrebbe sembrare una inezia ma non è così se si considerano altri intervalli. Prendiamo, ad esempio, l'intervallo di terza maggiore (DO - MI): dal punto di vista della purezza delle consonanze, il rapporto tra le frequenze dei due suoni dovrebbe essere  $5/4$  mentre il sistema equabile fornisce il rapporto  $\sqrt[3]{2} \approx 1.26$  che differisce percettibilmente dal rapporto esatto  $5/4 = 1.25$ . Considerata l'enorme importanza che gli intervalli di terza svolgono in ambito polifonico si comprende come sia stato difficile - almeno fino alla seconda metà del '600 - accettare un sistema nel quale tutte le terze maggiori sono sistematicamente crescenti. Scartata la soluzione equabile, furono concepiti altri sistemi di temperamento. Nel sistema pitagorico qualche quinta è perfetta mentre altre non lo sono; il temperamento mesotonico ha tutte le quinte quasi perfette (leggermente calanti) tranne una che è fortemente crescente. I vari tipi di temperamento si raggruppano in quattro classi che in ordine cronologico sono: pitagorico, mesotonico, ben temperato ed equabile. Ogni epoca ha inventato ed adottato un tipo di temperamento che rispecchia l'estetica musicale del momento. I temperamenti mesotonici sono quelli tipici della musica modale, mentre nel '600 l'affermarsi della tonalità e la pratica della modulazione hanno spinto verso il temperamento equabile. Va comunque sottolineato che accanto ad una tendenza storica generale che ha dal mesotonico va verso l'equabile, si assiste ad una vera babele di temperamenti diversi, spesso coesistenti e frutto di tradizioni e consuetudini locali. Nella musica sacra e nella costruzione degli organi si utilizzavano spesso temperamenti diversi da quelli impiegati in ambito profano. La figura (1) riassume la cronologia dei vari sistemi utilizzati.

L'assegnazione del carattere consonante agli intervalli di ottava, quinta e terza è dovuto a motivi storico-culturali anche se non è del tutto arbitraria. Essa trova un parziale riscontro naturale nel fenomeno fisico degli ipertoni (onde stazionarie). Una corda tesa vibra secondo un insieme discreto di frequenze (ipertoni) che sono multipli interi di una frequenza fondamentale. Se ci si limita ai primi sei elementi di questa serie si ritrovano i suoni corrispondenti agli intervalli puri di terza (maggiore e minore) e di quinta, espressi dai rapporti  $5/4$ ,  $6/5$  e  $3/2$ . La scoperta del fenomeno degli ipertoni ha suggerito - parafrasando il titolo di un famoso saggio di Rameau - che l'estetica musicale avesse un fondamento acustico naturale. Il fenomeno degli ipertoni ha anche contribuito a screditare - almeno presso certi teorici - il sistema equabile. Nei paesi mediterranei e in Italia in particolare vi era una maggiore intolleranza per gli intervalli imperfetti rispetto a quanto avveniva nei paesi di area tedesca. Non stupisce che l'Adagio introduttivo del quartetto Mozartiano K465 detto "delle dissonanze" - evidentemente pensato secondo uno schema quasi equabile - avesse

turbato e non poco il raffinatissimo orecchio italiano di Giuseppe Sarti che dopo averne fatto un rigido 'esame acustico' lo stroncò ferocemente<sup>3</sup>

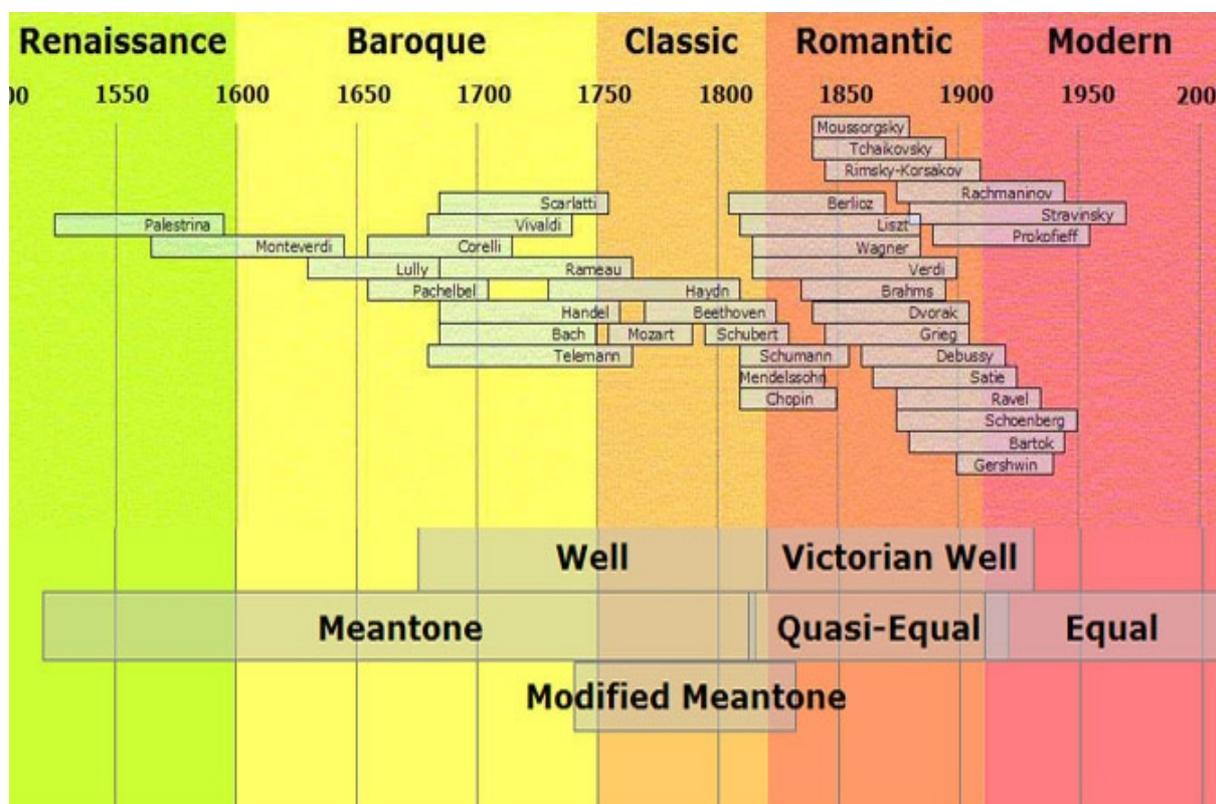


Figura 1: cronologia dei principali sistemi di temperamento

### La questione musicale

La transizione avvenuta intorno al 1680 dal temperamento mesotonico al 'buon temperamento' che compare nel titolo di una famosa raccolta bachiana di preludi e fughe, è dovuto all'imporsi del 'pensiero tonale' e della pratica della modulazione. La modulazione non è, infatti, compatibile con il sistema pitagorico o mesotonico. Ammettendo di aver predisposto una scala in modo che il terzo e il quinto grado siano consonanze perfette rispetto alla tonica, non appena cambiamo tonalità in generale la nuova tonica non formerà più consonanze perfette con il nuovo terzo e quinto grado.

*Ho spesso notato che un dato pezzo in La maggiore era abbastanza piacevole fino a che l'armonia si limitava a percorrere i toni ben temperati. Ma non era più la stessa cosa quando la modulazione si indirizzava verso il tono di MI e quindi compariva il Re#; ancora peggio quando si passava al tono di Do# minore, nel quale la detestabile armonia dell'accordo perfetto sul Sol# straziava immancabilmente le orecchie di molti fra gli stessi musicisti.*<sup>4</sup>

Il 'buon temperamento' fu la soluzione escogitata per evitare questi effetti detestabili e realizzava un accettabile compromesso tra la pratica della modulazione e l'esigenza di ottenere delle

<sup>3</sup> S. Cappelletto, La notte delle dissonanze, EDT, 2006

<sup>4</sup> Friedrich Marpurg, Principes de clavecin, 1756. Citazione tratta da Patrizio Barbieri: il massimo esperto italiano in fatto di temperamento la cui vasta produzione è consultabile alla pagina <http://www.patriziobarbieri.it/articlespdf.htm>

consonanze il più possibile perfette. Si faccia attenzione a non giudicare come 'difettosi' i temperamenti antichi: le disuniformità presenti in essi non erano difetti ma piuttosto risorse espressive come testimoniato da molti esempi tratti dalla letteratura madrigalistica. Certe quinte o terze, particolarmente imperfette e *dolenti*, offrivano una soluzione espressiva assai efficace quando occorreva musicare una parola particolarmente drammatica come 'morte' o 'dolore'. In questa prospettiva, il sistema equabile appare espressivamente più limitato rispetto ai sistemi antichi perchè ha eliminato queste sottili sfumature nell'intonazione.

Nel suo trattato di orchestrazione, Berlioz discute la famosa scena dell'Orfeo di Gluck in cui il protagonista ottiene il permesso di varcare la soglia degli inferi incantando con il suo canto le creature infernali che stanno di guardia. Berlioz si sofferma sulle seguenti battute in cui i mostri infernali, non ancora del tutto convinti, sbarrano la strada ad Orfeo pronunciando dei perentori "No".

1st Orchestra.  
Violins, Violas,  
& Basses.  
(Pizzicato.)

ORFEO.  
Spectres! larves!

Chorus.  
ff Non, Non,

2nd Orchestra.  
Violins, Violas,  
& Basses.  
(With the bow.)

Raddoppiati da alcuni strumenti, gli spettri intonano un FA diesis mentre una seconda sezione strumentale esegue un SOL bemolle. Nel sistema equabile, FA diesis e SOL bemolle sono la stessa nota e dunque la loro presenza in partitura sarebbe un caso di banale sinonimia: due segni diversi che indicano lo stesso suono. Così però non è dal punto di vista dei temperamenti antichi nei quali FA diesis e SOL bemolle non sono lo stesso suono, anzi, se suonati insieme producono una terribile cacofonia. Berlioz, che 'pensa' la musica nel sistema quasi-equabile, liquida come idiozia i fiumi di inchiostro che - a suo avviso - alcuni commentatori, in particolare Rousseau, avrebbero sprecato per descrivere l'effetto di questa aspra dissonanza che per Berlioz - lo ripetiamo - non esiste trattandosi soltanto di una sinonimia.

*Dans le célèbre Choeur de Dèmons de son Orphée, Gluck a établi une relation enharmonique entre deux parties, dans une tonalité indéterminée. Je veux parler du passage sur lequel Jean Jacques Rousseau et d'autres on écrit tant des folies, basées sur la difference qu'il croyaient trouver entre le Sol bémol et le Fa dièze... L'uditeur est profondément ému par un sentiment d'effroie grandiose, très musical. Il ne sait à la vérité quelle est la tonalité qu'il entend, est-ce Si bémol, est-ce sol mineur ? Il l'ignore, peu lui importe; mais rien ne le blesse dans l'association des diverses parties instrumentales et vocales. Le Fa dièze du choeur et du seconde orchestre produit le prodigieux effect que nous connaissons à cause de la manière imprévue dont il est amené, de l'accent sauvage qui lui est propre dans cette indécision de la tonalité, et non point a cause de sa prétendue et monstrueuse discordance avec le Sol bémol.*<sup>5</sup>

5 H. Berlioz, Grand traité d'instrumentation et d'orchestration moderne, Paris, Schonenberg, 1865, p.289

Per Berlioz, l'origine dell'effetto infernale "*trés musical*" non sta nell'urto – per lui inesistente - tra FA diesis e SOL bemolle ma altrove e precisamente nella indeterminatezza tonale implicita nell'accordo di settima diminuita (LA-DO-MI bemolle – FA diesis): un agglomerato dissonante che – come è noto – può risolversi su otto accordi diversi. Berlioz non comprende che chi è abituato a pensare la musica secondo un temperamento non equabile potrebbe onestamente interpretare il FA diesis il SOL bemolle presenti nella partitura di Gluck come una autentica volontà di produrre un aspro effetto enarmonico che – tra l'altro - non sarebbe nemmeno fuori luogo considerato il contesto infernale della scena. Il livore con cui Berlioz attacca il povero Rousseau è sintomatico di come l'assuefazione ad un certo tipo di sistema musicale impedisca di cogliere alcune sottigliezze della musica pensata all'interno di un altro sistema.

### **Conclusioni**

Quale lezione possiamo trarre dalla vicenda storica del temperamento ? Se volgiamo lo sguardo alla nostra contemporaneità, mi pare che una delle vicende culturali più interessanti capitate nella musica occidentale negli ultimi 30 anni sia stata la rivoluzione filologica che ha completamente rinnovato il modo di accostarsi, di interpretare e di presentare al pubblico la musica barocca e tardo-barocca. In questo contesto sembra del tutto ovvio che apprendere ed interiorizzare la questione dei temperamenti antichi sia destinato a diventare una tappa importante del cammino formativo di un musicista classico. Prima dell'imporsi del temperamento equabile, la musica si muoveva su un terreno assai complesso dal punto di vista dell'intonazione: intervalli perfetti o leggermente crescenti o calanti potevano trovarsi entro la medesima composizione. Tornando al violinista che cerca sul manico del violino la posizione giusta, si può fare un esempio ovvio : il Si bemolle pensato come sottodominante del Fa maggiore non è la stessa cosa del Si bemolle pensato come modale del Sol minore ed è ancora diverso dal Si bemolle pensato come dominante del Mi bemolle. Questa varietà di sfumature nell'intonazione non va pensata come difetto ma piuttosto come ricchezza di colore armonico. Prestare attenzione ai (micro) dettagli dell'intonazione al fine di ottenere un "bel suono", coerente con il repertorio, può essere altrettanto importante quanto altri parametri dell'esecuzione come l'articolazione, la dinamica e il fraseggio. Controllare intelligentemente l'intonazione richiede in primo luogo l'esercizio quotidiano dell'orecchio e quindi l'abilità intellettuale e culturale necessaria per cogliere certi dettagli armonici. Quel poco di discorso matematico che interviene nella questione del temperamento forse non è davvero necessario al musicista però, considerando che l'educazione dell'orecchio passa anche attraverso l'educazione della mente, quel poco di matematica - e in generale di formazione analitica che è il vero scopo dell'insegnamento scientifico - potrebbe rivelarsi una scorciatoia didattica per interiorizzare i dettagli dell'intonazione e trasformarli in risorsa espressiva e in gesto interpretativo.