Gs Electronics News

Le notizie della Gs Electronics direttamente sul tuo PC!

Anno 36 N. 10 Novembre – Dicembre 2016

Sommario

Visita il nostro sito

www.gselectronics.it

1. Premessa

La base di tutte queste *news* è il suono. Non bisogna mai perdere di vista la sua natura fisica. Ci si trova di fronte a onde meccaniche emesse dalla sorgente, costituita da un oggetto in vibrazione, che trasportano energia lontano dalla stessa. Nel suo viaggiare l'onda sonora può colpire il timpano dell'orecchio, che trasmette le vibrazioni all'orecchio interno dove queste variazioni di pressione si trasformano in impulsi nervosi inviati al cervello attraverso terminazioni nervose. Ha inizio il processo della percezione e quindi del "pensiero sonoro", inteso come una rappresentazione psichica della realtà che esiste solo nella nostra mente
La musica è organizzare i suoni prodotti in modo che si possa trasmettere un'emozione all'ascoltatore. Qualsiasi attività umana che si pone come scopo il generare emozioni, come la musica, nel suo significato più ampio, ricade nell'arte. La musica, inoltre, è un'attività artistica che rientra nel campo del trasferimento di un'informazione cioè nella comunicazione o meglio nella teoria dell'informazione. Una qualsiasi sorgente d'informazione per inviare un messaggio comprensibile deve avere a disposizione un linguaggio che è costituito da due elementi, simboli (semantica) e regole (sintassi). La musica si differenzia dalle altre fonti d'informazione perché per la sua interpretazione non si ricorre a linguaggi unici.

2. Matematica, musica e scale musicali

L’artista per creare la sua composizione ricorre a effetti musicali che sono dovuti a fenomeni che riguardano la fisica. La soluzione dei problemi, che quest’ultima pone, sono risolti solo con la matematica. Non ci sono dogmi assoluti, ma solo percorsi che dipendono dalla creatività dell’artista, che è sempre alla ricerca di un suono perfetto e, quindi a una giusta tonalità. Purtroppo la tonalità perfetta dipende da condizioni sempre differenti e imprevedibili che possono dipendere anche dal pezzo musicale. Inoltre, poiché ogni strumento musicale possiede una sua personalità, la funzione dell’accordatore esperto è quella di ottenere la migliore tonalità, per esempio alzando leggermente le note molto gravi e abbassando quelle estremamente acute. La costruzione della scala musicale presentata nelle news 9 è semplicemente un esempio di come si può costruirne una ponendosi un obiettivo, in questo caso di mantenere invariato il rapporto fra due toni adiacenti. Questa necessità sorge quando si desidera eseguire un pezzo musicale con tonalità diverse sempre mantenedo invariata la melodia. Johann Sebastian Bach introdusse il temperamento equabile nella raccolta “Il clavicembalo ben temperato” per avere la possibiltà di passare da una tonalità a un'altra senza avere problemi di accordatura. Sono state proposte altre divisioni dell’ottava in intervalli equabili che sono stati impiegati in accordature sperimentali proponendo 19, 24, 31 e 43 toni. Piace ricordare il sacerdote Nicola Vicentino che propose una scala temperata a 31 toni equabili nel suo trattato *L’antica musica ridotta alla moderna prattica* (Fig. 1) nel 1555, testo oggi disponibile solo in versione inglese, tradotta da Christiaan Huygens.

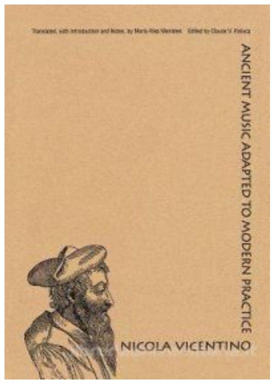

Figura 1. Copertina


Figura 2 Clavemusicum omnitonum

Per dimostrare la validità delle sue asserzioni progettò e costruì uno strumento a più tastiere (archicembalo). Al Museo internazionale e biblioteca della musica di Bologna è presente l’unico esemplare sopravvissuto fino ad oggi di clavicembalo, il *Clavemusicum omnitonum* (Fig. 2), costruito da Vito Trasuntino nel 1609, che ha 31 toni equabili ed è in grado di suonare più generi. Con l’avvento del sintetizzatore occorre citare il musicista e compositore statunitense Wendy Carlos (Fig. 3) che nel 1986 sperimentò e progettò vari tipi di scale musicali utilizzati nel suo album *Beauty and the Beast*. Una sua scala armonica ha sempre 12 note con i seguenti rapporti:


Figura 3 Wendy Carlos

1:1, 17:16, 9:8, 19:16, 5:4, 21:16, 11:8, 3:2, 13:8, 27:16, 7:4, 15:8, (2:1).
Un modo migliore nel rappresentare questi numeri é il moltiplicare per 16 questi rapporti e si ha:
16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 28, 30, (32).

3. Accordatura e cent.

Nelle varie fasi di accordatura di una fisarmonica interviene immancabilmente il termine di *cent*, che in forma abbreviata si indica con *cst*. E’ la centesima parte di un *semitono temperato* ed è stato introdotto per la prima volta da Alexander Hellis nel 1875. Il centesimo è un'unità di misura logaritmica. Il temperamento equabile è composto da ottave di 12 semitoni distanti di 100 centesimi fra loro. Essendo un’unità di misura logaritmica non è un’unità additiva ma è moltiplicativa cioè se 1 *cst* vale 2, 3 cst valgono 8. I *cst* sono impiegati per misurare intervalli musicali molto piccoli ed è diventato un metodo standard per rappresentare e per confrontare il valore di un intervallo con un altro in sistemi di accordatura diversi. L'intervallo di un *cst* è molto piccolo, tanto che l'orecchio umano non sempre riesce a valutarlo. Nell'ottava sono presenti 1200 intervalli di *cst.* Per definizione di ottava, il rapporto fra le frequenze delle due note che delimitano un'ottava è 2 per cui risulta:

Figura 4: Alexander Hellis

$2 = cst^{1200}$

$\log_2 2 = 1200 * \log_2 cst = 1.$

$\log_2 cst = 1/1200.$

$cst = \sqrt[1200]{2} = 1{,}00057779.$

Un cst corrisponde a 0.058%.

Data una frequenza di riferimento *a* e un'altra di valore *b* si può calcolare lo scostamento n in questo modo:

$b = a * cst^n = a * 2^{\frac{n}{1200}}$

$\frac{b}{a} = 2^{\frac{n}{1200}}$

$\log_2 \frac{b}{a} = \frac{n}{1200}$

$n = 1200 * \log_2 \frac{b}{a} = 1200 * \frac{\log_{10} \frac{b}{a}}{\log_{10} 2} = 3986{,}314 * \log_{10} \frac{b}{a}$

Supponiamo che *a = 440Hz* e *b = 441Hz* lo scostamento in cst è:

$n = 3986{,}314 * \log_{10} \frac{441}{440} = 3{,}93\ cst.$

Ora si suppone che a = 220 e *b = 221 Hz.*

$n = 3986{,}314 * \log_{10} \frac{221}{220} = 7{,}85\ cst.$

Si può notare che per la stessa variazione di 1 Hz la variazione in *cst* è doppia nel secondo caso.

Noto il corista, l'ottava e lo scostamento desiderato si può calcolare la frequenza di una nota con la seguente relazione:

$f = \frac{corista}{16} * \left(2^{\left((ottava-1) + \frac{nota}{12} + \frac{cst}{1200}\right)}\right)$

ove il valore della nota vale 0 per il La, 1 per il La#,…, e 11 per il Sol#.

Posto il corista a 440 Hz, si desidera calcolare la frequenza per il Do della terza ottava con un *cst* pari a +5.

Sostituiamo i valori:

$\frac{440}{16}$*$\left(2^{\left(2+\frac{3}{12}+\frac{5}{1200}\right)}\right)$ = 131,19 Hz.

E' indicativo rappresentare il valore delle note in *cst* e confrontare il valore ottenuto con il temperamento equabile con quello pitagorico. La tabella evidenzia che l'accordatura con il temperamento equabile ha il vantaggio che la differenza Δ in *cst* fra due toni adiacenti resta costante, mentre per quello pitagorico questo rapporto Δ assume due valori. Se, però, eseguiamo un accordo, per esempio il LA, suoniamo contemporaneamente il LA e il MI. Il loro rapporto non è esattamente 3/2 poiché il MI non vale 330 Hz ma assume una frequenza inferiore di 0,3724 Hz. Il risultato che la quinta del LA, il MI, non è perfettamente consonante. Gli effetti di queste dissonanze saranno affrontati nell'analisi dei battimenti.

Pos.	Nota	Freq. Equ.	Cst(e)	Δ	Freq. Pit.	Cst(p)	Δ	Cst(e)-Cst(p)	Fe-Fp
1	LA	220,000	0	0	220,0000	0,0	0,0	0	0,0000
2	LA#	233,082	100	100	234,9316	113,7	113,7	-13,6	-1,8498
3	SI	246,942	200	100	247,5000	203,9	90,2	-3,9	-0,5583
4	DO	261,626	300	100	260,7407	294,1	90,2	5,8	0,8848
5	DO#	277,183	400	100	278,4375	407,8	113,7	-7,8	-1,2549
6	RE	293,665	500	100	293,3333	498,0	90,2	1,9	0,3314
7	RE#	311,127	600	100	313,2422	611,7	113,7	-11,7	-2,1152
8	MI	329,628	700	100	330,0000	702,0	90,2	-1,9	-0,3724
9	FA	349,228	800	100	347,6543	792,2	90,2	7,8	1,5739
10	FA#	369,994	900	100	371,2500	905,9	113,7	-5,8	-1,2556
11	SOL	391,995	1000	100	391,1111	996,1	90,2	3,9	0,8843
12	SOL#	415,305	1100	100	417,6563	1109,8	113,7	-9,7	-2,3516
13	LA	440,000	1200	100	440,0000	1200,0	90,2	0	0,0000

3.1 Percezione del pitch

Stabilire quanti cents sono percettibili dall'uomo è molto difficile, se non impossibile, perché tale capacità è del tutto soggettiva e, quindi, varia da individuo a individuo. Ogni intervallo musicale, a causa della fisiologia dell'orecchio interno, è percepito in modo proporzionale al rapporto delle frequenze dei suoni non alla loro differenza. E' possibile fornire una formulazione matematica della percezione mediante i logaritmi ricorrendo alle loro proprietà. Il logaritmo del prodotto di due numeri è la somma dei logaritmi dei due numeri stessi mentre il logaritmo del quoziente di due numeri è la differenza tra i logaritmi degli stessi. La percezione di un intervallo, quindi, è proporzionale alla differenza dei logaritmi delle frequenze stesse. I cents, essendo grandezze logaritmiche, si prestano bene a questa valutazione da parte dell'uomo. Nel campo degli esperimenti psicofisici sulle capacità percettive e sensazioni nel poter distinguere tra due stimoli quasi identici si definisce differenza minima apprezzabile con JND (just noticeable difference) la differenza fra le due grandezze fisiche affinchè siano riconosciute differenti nel 50% delle prove. Due stimoli, la cui differenza è inferiore a questo valore, sono considerati uguali. Da uno studio effettuato presso School of Electrical and Computer Engineering Georgia Institute of Technology nel

2006 da Loeffer sembra che gli uomini possono distinguere una differenza in pitch di circa 5-6 centesimi. Tale capacità, tecnicamente nota come JND, varia anche in funzione della frequenza, dell'ampiezza e del timbro. Altri studi hanno dimostrato che variazioni di tono di ±12 cents hanno ridotto le capacità del riconoscimento di questi pitch fuori tono. I sensi dell'uomo possono essere uno strumento d'analisi molto raffinato. Tutti i recettori che abbiamo nelle varie parti dell'orecchio sono mediati dal cervello per darci una risposta semplice, tipo mi piace o non mi piace, ma anche, dopo un addestramento specifico, restituire informazioni molto precise e particolareggiate. La differenza la fa la **preparazione**. Non si diventa accordatori in un giorno.

4. Dissonanze e battimenti

Come si è visto nel paragrafo precedente, due note con altezza differente sotto i 5-6 *cst* non sempre sono differenziate dall'uomo, ma se le stesse sono suonate contemporaneamente, si ha il fenomeno del battimento. La sensazione acustica è quella di ascoltare un suono la cui intensità varia nel tempo con una frequenza che dipende dalla differenza dell'altezze delle due singole note. Tanto più sono vicine, tanto più l'oscillazione generata è lenta fino a scomparire quando le due note hanno la stessa altezza. Per questo motivo nell'intonare gli strumenti si può impiegare il metodo dei battimenti che scompaiono a strumento intonato. Per comprendere questo fenomeno e darne una rappresentazione matematica occorre riferirsi alla sovrapposizione di due onde che supponiamo, per semplicità, sinusoidali di ampiezza unitaria e di pulsazione $w1$ e $w2$. Le formule di prostaferesi ci forniscono la risultante delle due onde:

$$\mathrm{sen}(w_1 t) + \mathrm{sen}(w_2 t) = 2\cos\left(\frac{w1-w2}{2}\right)*\mathrm{sen}\left(\frac{w1+w2}{2}\right) = 2\cos(\Omega t)*\mathrm{sen}(wt)$$

Ove si è posto

$w = \frac{w1+w2}{2}$ e $\Omega = \frac{w1-w2}{2}$.

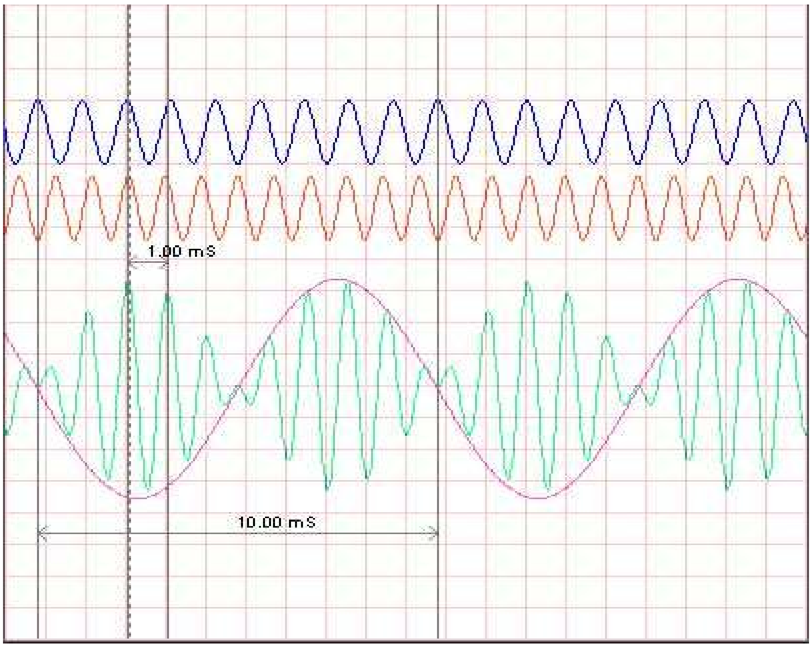

Figura 5.

Se i due suoni hanno altezze molto vicine, il risultato percepito è un'onda sonora con un'altezza pari alla loro media *F* la cui ampiezza è modulata alla frequenza Ω. La figura 4 rappresenta un esempio di battimento generato da due frequenze di valore 900 e 1100. Il risultato è una frequenza di 1Khz con una modulazione di ampiezza di 100Hz.

In pratica se si desidera realizzare con la fisarmonica un effetto *tremolo* è sufficiente suonare contemporaneamente due ancie con frequenze di vibrazione tali che la loro media sia la frequenza della nota desiderata e la loro distanza sia il doppio della frequenza del *tremolo* desiderato.

Facciamo un esempio pratico:

Occorre intonare due ancie per realizzare un La 440 con un *tremolo* di 6 Hz. Le due ancie devono essere intonate a 446 e 434 Hz. Con questa scelta si ha:

$F = \frac{446+434}{2} = 440$ Hz per la frequenza risultante

$A = \frac{446-434}{2} = 6$ Hz per la frequenza del tremolo.

Da queste osservazioni si evince che per eseguire un'intonatura ideale occorrerebbe far riferimento alla frequenza del tremolo e non ai *cst*. Infatti rispetto al corista 440 la frequenza 446 Hz si discosta di 23,4 *cst* mentre quella di 434 Hz di – 23,7 *cst*.

Se si fossero intonate le due ancie con uno scostamento di -23,4 *cst* la frequenza prodotta dall'altra ancia sarebbe di 434,09 Hz. Il risultato sarebbe:

$F = \frac{446+434,09}{2} = 440,045$ Hz.

La frequenza risultante si discosta di appena 0,2 *cst* da quella desiderata. Tale variazione non è percepibile dall'orecchio.

Se ci riferiamo a un'ottava superiore vediamo come la risultante cambia, mantenendo lo stesso scostamento di 23,4 *cst*.

Le due frequenze risultano:

$F_1 = 892$ Hz e $F_2 = 868$ Hz.

$F = 880$ Hz e $A = 12$ Hz.

La frequenza percepita *F* è sempre quella desiderata, ma la frequenza del tremolo *A* è raddoppiata.

Per l'ottava ancora superiore s'intuisce che la *F* ottenuta è sempre giusta mentre la *A* vale 24 Hz e quindi è ancora raddoppiata. In definitiva, per ottenere la percezione dell'esempio precedente, nel caso di un LA 880 Hz si doveva avere:

$F_1 = 886$ Hz e $F_2 = 874$ Hz.

Gli scostamenti relativi in *cts* sono 11,76 e -11,84, la metà di quelli ottenuti in precedenza.

Per comprendere tutti gli effetti che si hanno quando lo stimolo uditivo è costituito da due suoni con frequenze di poco differenti fra loro, occorre riferirsi al concetto della “banda critica”, che analizza le sensazioni uditive al variare della differenza fra le due frequenze. Tale banda critica dipende dalla fisiologia dell’orecchio e precisamente dall’organo del Corti e corrisponde a circa 1300 recettori nervosi sui 30000 complessivi.

In una prossima *news* si tratterrà il fenomeno dei battimenti e come realzzare i tremoli.

5. Argomenti della prossima news

Un accordo, nella teoria musicale, si ha quando si suonano simultaneamente tre o più note di altezza ben definita. Come s’intuisce anche in questi casi si hanno fenomeni di battimento. Nella prossima news si affronteranno i problemi relativi.

6. Bibliografia

[1] Sound Generation in Wind, String, Computers:
Author: Arthur H. Benade.
Publisher: Kungl. Musikaliska Akademien (1980).
ISBN-10: 9185428183..

[2] The Physic of sound:
Author: Berg, David G Stork.
Publisher: Addison-Wesley; 3 edition (August 27, 2004).
ISBN-10: 0131457896.

[3] The Physics of Musical Instruments:
Author: Neville H. Fletcher, Thomas D. Rossing .
Publisher: Springer; 2nd edition (June 19, 1998) .
ISBN-10: 0387983740.

[4] La Scienza del Suono:
Author: John R. Pierce.
Publisher: Zanichelli.
ISBN-10: 8808021661.

[5] Musical Physics and Engineering:
Author: Harry F. Olson.
Publisher: Dover Publications; Revised edition (June 1, 1967).
ISBN-10: 0486217698.

[6] The Physics and Psychophysics of Music - An Introduction:
Author: Juan G. Roederer .
Publisher: Springer; 3rd edition (October 31, 2001).
ISBN-10: 9780387943664.

[7] The Science of Sound:
Author: Thomas D. Rossing.
Publisher: Addison-Wesley; 2 edition (March 1, 1990).

ISBN-10: 0201157276.

[8] Physics for Scientists and Engineers, Chapters 1-46:
Author: Raymond A. Serway.
Publisher: Brooks/Cole Pub Co; 5th edition (October 30, 1999).
ISBN-10: 0030317169.

[9] **Musical Acoustics:**
Author: Thomas D. Rossing.
Publisher: Amer Assn of Physics Teachers (July 1988).
ISBN-10: 091785330X.

[10] Fundamentals of Musical Acoustics - Second, Revised Edition:
Author: Arthur H. Benade.
Publisher: Dover Publications; Reprint edition (November 1, 1990).
ISBN-10: 048626484X.

[11] Science and Music:
Author: Sir James H. Jeans.
Publisher: Dover Publications; New edition edition (June 1, 1968).
ISBN-10: 0486619648.

[12] Musical Instrument Design - Practical Information for Instrument Design:
Author: Bart Hopkin, John Scoville.
Publisher: See Sharp Press (January 1, 1996).
ISBN-10: 1884365086.

[13] On the Sensations of Tone:
Author: Hermann Helmholtz
Publisher: Dover Publications; 2nd edition (June 1, 1954)
ISBN-10: 0486607534

[14] Analysis, Synthesis, and Perception of Musical Sounds:
Author: James Beauchamp.
Publisher: Springer; 2007 edition (January 24, 2007).
ISBN-10: 0387324968.

[15] Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica e ai movimenti locali:
Author: Galileo Galilei.
Publisher: Amazon (Kindle edition).

[16] A theory of evolving tonality
Author: Joseph Yasser.
Publisher: America Library of Musicology, New York, 1932.
ISBN-10: 0306707292.

[17] Ancient Music Adapted to Modern Practice
Author: Vicentino Nicola.
Publisher: Yale University Press, 2011.
ISBN-10: 0300184166.

[18] Psychology of Music:
Author: Carl Emil Seashore.
Publisher: Dover Publications Inc (1967).

ISBN-10: **0486218511.**

[19] Instrument Timbres and Pitch Estimation in Polyphonic Music
Author: Beatus Dominik Loeffler.
School of Electrical and Computer Engineering.
Georgia Institute of Technology May 2006.