

POLITECNICO DI TORINO
Facoltà di Architettura
Corso di Laurea in Disegno Industriale

TESI DI LAUREA

I colori del suono

Analisi della correlazione tra musica e colore e
possibili scenari progettuali



Relatore
Arch. Cristian Campagnaro

Candidato
Gianni Alvise Cognolato

Dicembre 2023

Indice

Introduzione.....	p.4
1. Principi di fisica del colore.....	p.6
1.1. Cos'è il colore?.....	p.6
1.2. Parametri che definiscono un colore.....	p.9
1.2.1. Tinta o Tonalità.....	p.9
1.2.2. Luminosità.....	p.9
1.2.3. Chiarezza.....	p.10
1.2.4. Intensità o Pienezza.....	p.13
1.2.5. Croma o Crominanza.....	p.14
1.2.6. Saturazione.....	p.16
2. Principi di fisica del suono.....	p.18
2.1. Cos'è il suono?.....	p.18
2.2. Caratteristiche fisiche di un'onda sonora.....	p.22
2.2.1. Ampiezza.....	p.22
2.2.2. Frequenza.....	p.23
2.2.3. Timbro.....	p.25
2.2.4. Periodo.....	p.27
2.2.5. Velocità di propagazione.....	p.28
2.2.6. Lunghezza d'onda.....	p.29
3. Colori e Note.....	p.30
3.1. Sequenza cromatica (colori).....	p.30
3.2. Sequenza armonica (note musicali).....	p.34
4. Storia della correlazione tra colori e musica.....	p.43
4.1. Gli antichi greci.....	p.44
4.1.1. Aristotele e i colori.....	p.45
4.1.2. Aristotele e la musica.....	p.48
4.2. Giuseppe Arcimboldo.....	p.51
4.3. Alla ricerca di un metodo scientifico.....	p.54
4.3.1. Isaac Newton.....	p.55

4.3.2. Padre Louis Bertrand Castel.....	p.56
4.3.3. George Field.....	p.59
4.3.4. Da Bishop a Rimington.....	p.62
4.3.5. Hermann von Helmholtz.....	p.66
4.3.6. Alexander Skrjabin.....	p.67
4.3.7. Il rapporto suono-colore nella metodologia di Luigi Veronesi.....	p.69
5. Correlazione fisica tra note e colori.....	p.76
6. La scala fonocromatica.....	p.81
7. Il colore delle altre ottave.....	p.83
8. Il colore degli accordi.....	p.105
9. La forma del suono (il timbro).....	p.107
10. Valutazione delle sequenze cromatiche.....	p.119
11. Possibili campi di applicazione della teoria.....	p.130
11.1. Ludico e didattico.....	p.130
11.2. Sensoriale.....	p.131
11.3. Supporto a deficit sensoriali legati all'udito e alla vista.....	p.132
Conclusioni.....	p.134
Bibliografia.....	p.137
Sitografia.....	p.137
Indice delle immagini.....	p.140

Introduzione

Suoni e colori fanno parte della vita quotidiana, ne siamo avvolti ogni istante. Essi si intrecciano e danzano assieme nel tempo. L'espressione più alta del suono è "la musica", la quale diversifica il suo impatto sulla sfera emotiva anche in funzione del contesto in cui si propaga. Spesso veniamo attirati in certi luoghi proprio da un suono o da una musica che ci invita ad esplorare tale luogo. La musica come intrattenimento agisce sulla mente creando una condizione di piacevolezza, e si suppone possa anche mitigare la sensazione di stress durante le attese nelle sale d'aspetto. Nell'intimo la musica è spesso utilizzata per gestire i differenti stati emotivi in cui le persone si trovano: "tristezza, gioia, rabbia, etc..", essa accompagna queste manifestazioni quasi alimentandone la forza. La musica è anche consigliera e spesso ci permette di giungere a ragionamenti profondi che ci portano fuori da stati d'animo quali la depressione; essa è anche identificazione, poiché spesso le persone trovano in un genere musicale il loro modo di essere e di esprimere la propria natura.

Il colore è associato agli stati d'animo ed è utilizzato anche per indurre ad un certo tipo di reazione o comportamento. Basti pensare all'utilizzo del rosso in certi ambienti dove si vuole che la gente sostenga il più breve tempo possibile. Dal lato opposto vi è l'utilizzo dei colori freddi che in genere tendono a rilassare e pretendono a trattenere la persona il più possibile in un certo luogo. Anche per il colore, come per la musica, esiste una sorta di potere identificativo. Basti pensare al famoso test dei colori di Luschër, dove una persona viene studiata a livello psicologico in funzione delle sue scelte cromatiche. Spesso noi stessi associamo un colore ad una persona in funzione di caratteristiche che le attribuiamo e che consideriamo appartenenti a quel tipo di colore.

Il colore, per alcuni autori come: "Rudolf Steiner", può giungere fino alla comprensione della sfera spirituale. Nel suo testo: "L'essenza dei colori" Steiner parte da uno studio fisico oggettivo del colore e

attraverso un'analisi soggettiva giunge ad una nuova valutazione oggettiva del colore, spirituale e non fisica.

Ora immaginiamo il potere di colori e suoni abbinato, potremmo avere dei risultati interessanti attraverso delle correlazioni appropriate basate su sistemi di attribuzione in primo luogo fisici, per poi giungere ad un'analisi a campione per determinare una valutazione soggettiva di tali associazioni che ci faccia giungere ad una vera oggettività della correlazione.

Le correlazioni così derivate, porterebbero con sé la possibilità di fare sentire la musica attraverso il colore o far percepire il colore attraverso la musica. Se la correlazione fosse corretta, la persona dovrebbe percepire lo stesso impatto emotivo sia ascoltando che osservando il brano nella sua espressione cromatica. D'altro canto, una sequenza cromatica potrebbe diventare musica.

Il colore e la musica operano entrambi su canali emotivi e riproducono sensazioni differenti in funzione della tinta e della melodia prodotta. Se esiste una correlazione, posso allora sentire la musica attraverso la visione del colore e vedere il colore attraverso l'ascolto della musica?

Nei capitoli a seguire proveremo a capire se questa correlazione è possibile, in modo da ottenere, infine, una teoria e a definirne i possibili utilizzi.

1. Principi di fisica del colore

Solitamente quando si pensa al colore, lo si considera come una semplice caratteristica degli oggetti, ma in realtà il fenomeno che porta a percepirlo è molto complicato e coinvolge diversi fattori, come ad esempio la luce o la relazione occhio cervello e implica anche fenomeni di assorbimento, di riflessione e di rifrazione.

1.1. Cos'è il colore?

Quando si parla di colore si deve parlare anche di luce, in quanto in assenza di luce non si produce colore, così come non si può parlare di colore senza pensare alle emozioni che spesso vengono ad esso associate. Com'è noto, i colori influenzano lo stato d'animo: ogni colore provoca infatti una certa reazione a livello emotivo nel soggetto. Nel mondo dei colori, per esempio, viene attribuito al bianco la purezza, al rosso l'ira, al nero la disperazione e il dolore, al rosa l'amore ecc... Viviamo in un mondo pervaso da colori, laddove c'è luce c'è colore. La percezione della forma, la profondità e il chiaroscuro sono strettamente connessi alla percezione del colore. Gli oggetti hanno colore, ma questo attributo viene percepito alla presenza della luce. La luce è un'onda elettromagnetica che si propaga a circa 300.000 chilometri al secondo. La materia è visibile grazie all'energia che impatta sugli occhi. A seconda della lunghezza d'onda, abbiamo diversi tipi di luce: infrarossa, visibile dall'occhio umano e raggi ultravioletti.

Che cos'è quindi il colore? Non è semplice darne una definizione. Iniziamo analizzando la natura stessa della luce, la quale è costituita da una vibrazione di tipo elettromagnetico. La luce rende visibile tutti i corpi che la trasmettono e la riflettono. La luce del sole, che a noi appare bianca, secondo la teoria di Newton è composta da tutti i colori presenti nell'arcobaleno; egli segna il passaggio dalle antiche teorie aristoteliche a quelle presenti nella fisica moderna.

Newton, attraverso studi condotti tra il 1665 e il 1666, osservò che, quando un raggio di luce solare attraversa una fessura per poi colpire un prisma triangolare (fig.1), la luce si scompone a forma di ventaglio ottenendo la cosiddetta “striscia cromatica dello spettro”, composta dai colori: rosso, arancio, giallo, verde, blu, indaco e violetto. Fu Newton stesso a chiamare questa serie di colori “spettro” (in latino spectrum, “immagine”, “visione”, “fantasma”) e arrivò a spiegare il fenomeno dando come ipotesi che nella luce del sole siano contenuti raggi diversi, con differenti valori rifrattivi che, osservati separatamente, vengono percepiti come diversi colori.

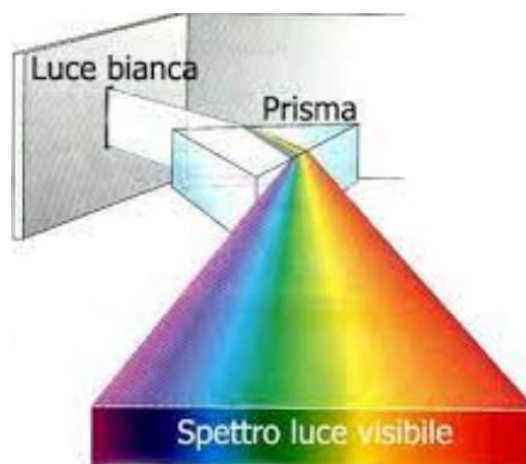


Fig. 1
Scomposizione della luce bianca

A livello visivo cambia la percezione tra colori mescolati e colori separati. Proviamo ad immaginare la luce come una frequenza emessa da un corpo vibrante e in caso di vibrazione lenta il colore percepito sarà il rosso, man mano che la frequenza di vibrazione viene aumentata, il rosso inizia a trasformarsi nei diversi colori dello spettro (arancio, giallo, verde, ecc.) fino ad arrivare al violetto. Oltre

i limiti del rosso e del violetto ci sono rispettivamente gli infrarossi e gli ultravioletti, che restano invisibili all'occhio umano.

Cosa succede quando vediamo un oggetto colorato? Per esempio, un oggetto verde, lo è in quanto riflette la luce verde ed assorbe le altre componenti dello spettro. Il bianco e il nero sono dovuti a una totale riflessione e ad un assorbimento di tutte le componenti dello spettro.

Difficilmente però la luce è sempre omogenea. Per esempio, la luce solare, sia all'alba che al tramonto, perde parte delle lunghezze d'onda nel campo del violetto, questo fenomeno conferisce alla luce un colore rosa. Questo è dovuto al maggiore spessore atmosferico che si trova a dover attraversare che porta ad un eccesso di vibrazioni lente, ovvero di lunghezze d'onda più grandi. Possiamo rilevare lo stesso fenomeno nella luce emessa dalle lampadine di casa, dove troviamo una preponderanza di rosso molto forte.

Dal punto di vista fisico legato alla teoria ondulatoria, la luce rientra in una zona limitata e ristretta dello spettro, è un'onda che si può descrivere attraverso l'uso di un solo parametro: "la lunghezza d'onda λ ", che definisce i limiti dimensionali visibili dell'onda. La luce visibile spazia da $\lambda \approx 400\text{nm}$ (violetto) a $\lambda \approx 700\text{nm}$ (rosso) (fig.2).

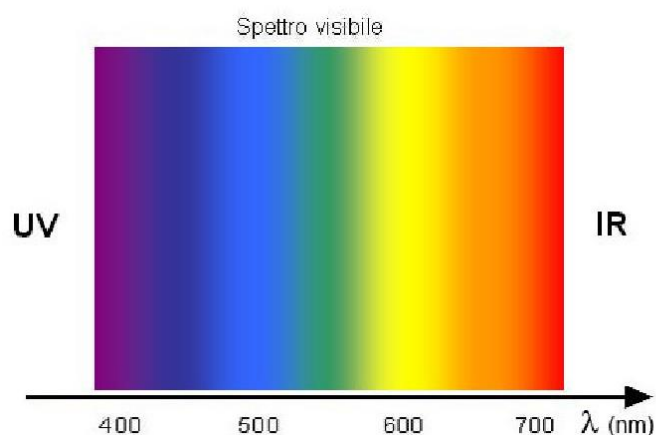


Fig.2
Spettro visibile

1.2. Parametri che definiscono un colore

Vi sono differenti parametri che vengono utilizzati normalmente per definire un colore; essi sono la tinta o tonalità, la luminosità, la chiarezza, l'intensità o pienezza, la croma o cromaticità e la saturazione. Andiamo ora ad analizzarli.

1.2.1. Tinta o Tonalità

La tinta è una qualità a livello percettivo che determina il nome che attribuiamo al colore (rosso, verde, giallo, ecc). La tinta fa riferimento al colore puro, senza alterazioni dovute all'aggiunta del colore bianco o del colore nero. Il sistema di misura per la tinta è il grado, che varia da 0° a un massimo di 359°. Ad esempio, nella figura 3 vengono presentate 4 tinte diverse.

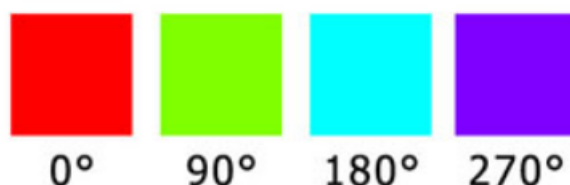


Fig.3
Esempi di tinte

1.2.2. Luminosità (brillanza)

La luminosità è un termine attribuito al linguaggio comune quando non si parla di brillantezza o chiarezza ed è visto come un fattore generico che può significare entrambe le cose. Possiamo definire la luminosità come parametro legato alla percezione. La luminosità è uno dei parametri utilizzati nelle coordinate del sistema di rappresentazione dei colori **Hue Saturation**

Brightness o HSB (tonalità-saturazione-luminosità), mentre nel sistema denominato **Hue Saturation Lightness o HSL** come terza coordinata viene utilizzata la chiarezza.

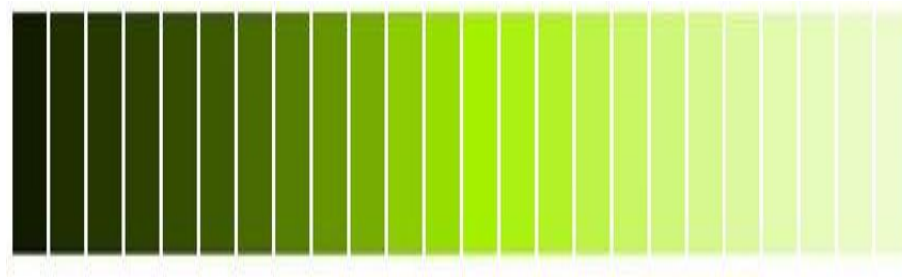


Fig.4
Luminosità

La luminosità (brillanza) è la quantità di luce emessa o riflessa da una sorgente luminosa. Questo parametro viene spesso confuso con la chiarezza (lightness) perché entrambi vengono sovente tradotti erroneamente con il termine di luminosità anche se rappresentano due caratteristiche diverse (fig.4).

1.2.3. Chiarezza

La chiarezza, come scritto sopra, non va confusa con la luminosità di un colore. Va intesa come: "la quantità totale di luce (brillanza) percepita rispetto alla brillantezza di un oggetto perfettamente bianco dopo aver scartato le differenze di illuminazione (se esistono)" ¹. La chiarezza non dipende dal livello di illuminazione. Viene utilizzata nei modelli di colore HSB, HSV o HSL e il suo valore è espresso in percentuale che va da 0% scurissimo a 100%, in riferimento al bianco. Tutte le tonalità base hanno un livello medio di chiarezza del 50%. I modelli HSV e HSL fanno riferimento alla luminosità, ma di fatto si tratta della chiarezza.

¹ <https://www.gianlucatramontana.it/2014/01/27/teoria-del-colore-concetti-e-terminologia/>

Di conseguenza per **schiarire** o **scurire** un colore è sufficiente cambiare la percentuale di chiarezza.

Un esempio di brillantezza/chiarità è fornito in fig.5. L'immagine rappresenta una casa in parte illuminata e in parte in ombra. La parete frontale dove si trova l'ingresso appare emettere più luce di quella adiacente posta alla nostra sinistra; dunque, le due pareti hanno diversi valori di brillantezza (luminosità), ma hanno stessa chiarezza, poiché attribuiamo la diversa brillantezza al fattore illuminazione. Eliminando il fattore illuminazione, la chiarezza sarà la stessa.

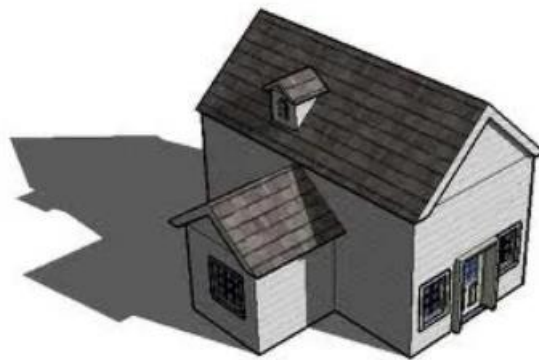


Fig.5
Brillantezza/chiarità

Altro esempio in fig. 6 dove nella zona in ombra la brillantezza del *grigio* risulta essere inferiore alla brillantezza del grigio nella zona fuori ombra. D'altro canto, anche la brillantezza del *bianco* è nella stessa proporzione differente, pertanto possiamo concludere che la chiarezza del grigio (e del bianco) rimangono le stesse, sia in ombra che in luce.

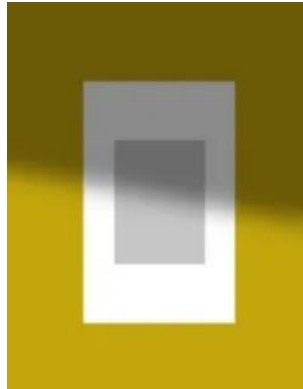


Fig.6
Chiarezza

Possiamo concludere che nel giudicare la **brillanza (luminosità)** ci avvaliamo di un meccanismo mentale che valuta quanta luce riceve l'occhio; per giudicare la **chiarezza** è necessario un meccanismo mentale che valuta la riflessione della superficie, ma questo genera un problema, in quanto la riflessione è attribuito del materiale stesso, pertanto non raggiunge il nostro occhio, ma rimane sulla superficie. Una superficie poco illuminata rifletterà meno luce di quando è molto illuminata. L'occhio umano, anche di fronte a valori di illuminazione differente, riesce a capire che la chiarezza non è cambiata ed è in grado di valutare in maniera ottimale la riflessione di una superficie. L'occhio umano è portato più alla percezione e alla valutazione della chiarezza rispetto alla luminosità. Questo fattore legato al sistema visivo è stato chiamato: "costante della chiarezza".

Un altro esempio ci viene dalla fig. 7. In questo caso abbiamo una scacchiera in parte in ombra e in parte in luce. Soffermiamoci sulla parte in luce ed è evidente come il colore grigio sia più chiaro di quello nero, tale attributo rimane anche se andiamo a confrontare il quadrante B rispetto al quadrante A. Nonostante B sia in ombra lo vediamo più chiaro di A; pertanto, possiamo sostenere che B è più chiaro di A, ma A è più luminoso di B.

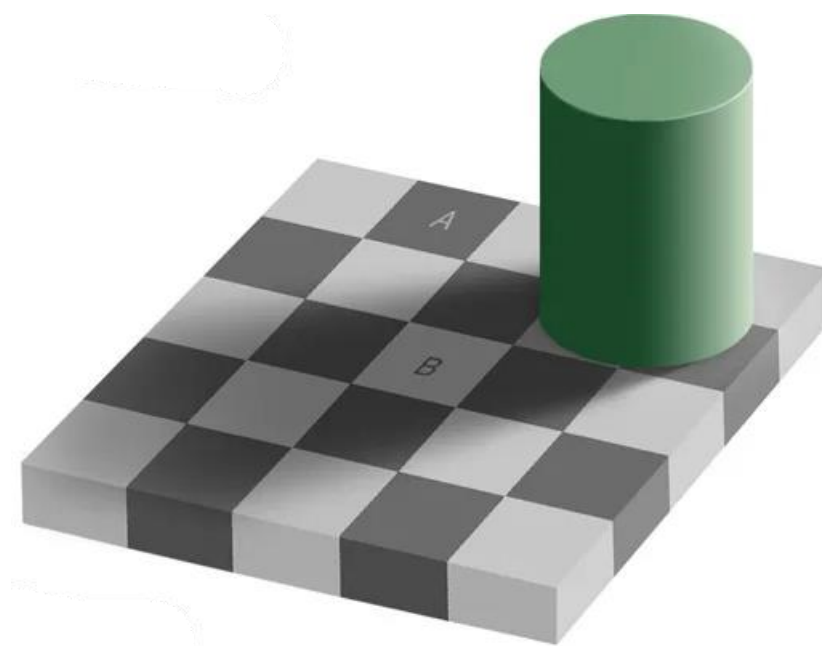


Fig.7
Differenza tra chiarezza e illuminazione

1.2.4. Intensità o Pienezza

La pienezza o intensità è un attributo legato alla percezione visiva che permette di valutare se un'area risulta più o meno dotata di tonalità. La pienezza può essere intesa come il grado di differenza che c'è tra un colore e il grigio. I colori come il bianco ed il nero hanno pienezza 0, in quanto sono definiti "acromatici". Con l'aumento della tinta aumenta la pienezza.

In funzione dell'illuminazione della scena la percezione della pienezza cambia, così come in funzione della luminanza del monitor del PC. Pertanto, alla luce del sole gli oggetti saranno percepiti con una pienezza maggiore, rispetto ad oggetti osservati in una giornata nuvolosa o al chiaro di luna.

Andando più in profondità sull'argomento, troviamo due varianti relative: "**la croma e la saturazione**", termini molto simili che a volte vengono confusi poiché entrambi rappresentano

caratteristiche delle pienezze, ma sono differenti e pertanto vanno distinti tra loro.

1.2.5.Croma o Crominanza

La croma è definita come una pienezza relativa in riferimento alla brillantezza del bianco e dunque si può giudicare per colori attraverso il metodo superficie, per esempio sul monitor.

“La definizione di croma nell’International Lighting Vocabulary è: pienezza di un’area giudicata in proporzione alla brillantezza di un’area similmente illuminata che appare essere bianca”.² Pertanto, possiamo intendere la croma di un colore come la sua pienezza dopo aver eliminato le differenze di illuminazione (qualora fossero presenti). La croma viene descritta con gli stessi aggettivi usati per la pienezza e la saturazione:

vivo (bright);
vivace;
allegro;
intenso (strong);
acceso;
spento;
pallido (pale);
pastello;
tenue;
sbiadito;
carico;
cupo;
smorto;
profondo (deep).

² La croma di un colore (cioè una pienezza relativa) | colore digitale blog (boscarol.com)

Esistono alcuni aggettivi utilizzati per definire sia la croma che la chiarezza in maniera simultanea:

sporco (dirty) scuro e bassa croma;
forte (strong) scuro e alta croma;
debole (weak) chiaro e bassa croma;
pulito (clean) chiaro e alta croma.

In italiano, per definire la croma, viene spesso usato il termine “saturazione”, ma la “saturazione” non è il termine corretto, in quanto vi è differenza tra i due parametri.

In fig.8, sono rappresentati quattro quadrati colorati, dove una parte è in ombra e l'altra fuori ombra. Il colore fuori ombra risulta avere pienezza maggiore rispetto al colore in ombra, ma, nel momento che si giudica un singolo quadrato, salta subito all'occhio che anche il bianco ha una brillantezza maggiore nelle due configurazioni. Dunque, giudicando la pienezza di un colore in relazione alla brillantezza del bianco si può affermare che il colore in ombra sia lo stesso del colore fuori ombra. In questo caso la pienezza relativa è rimasta costante.

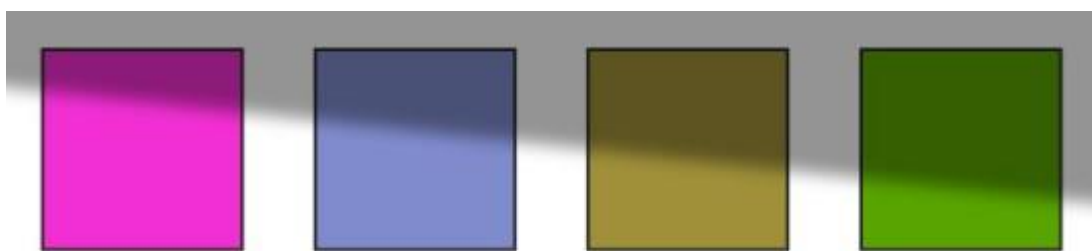


Fig.8
Esempi di pienezza del colore

La pienezza del colore, è dovuta al diverso livello di illuminazione, pertanto se non ci fosse variazione del livello di illuminazione, non ci sarebbe nemmeno la variazione di pienezza. La croma è per definizione la pienezza relativa al livello di illuminazione.

1.2.6. Saturazione

La relazione tra la pienezza del colore e la sua propria quantità di luce (brillanza del colore) viene chiamata saturazione. Essa, a differenza della croma, non è in relazione alla brillantezza del bianco, però, come la croma, la saturazione dipende dal livello di illuminazione della scena; da ciò ne deriva che se si scartano le variazioni di illuminazione la saturazione rimane invariata.

La saturazione è quindi una delle tre proprietà che solitamente vengono utilizzate per determinare un colore. Il valore della saturazione può variare da 0% (che corrisponde al grigio) al 100% (che corrisponde al colore puro). Si può affermare che la saturazione influenzi dal punto di vista percettivo il grado di purezza o di vivacità di un colore o di un'immagine. Desaturando un'immagine, le si apporta una sensazione di morbidezza, poiché l'immagine appare meno colorata, slavata ma ciò potrebbe farla apparire per certi versi noiosa.

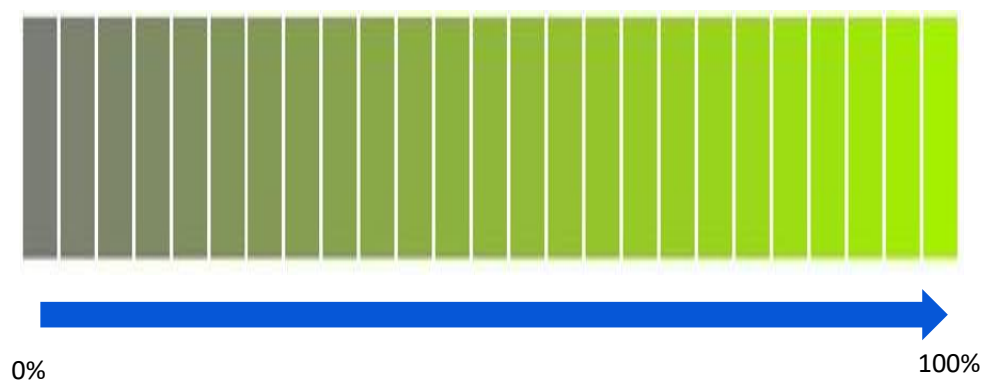


Fig. 9
Esempio di saturazione di un colore

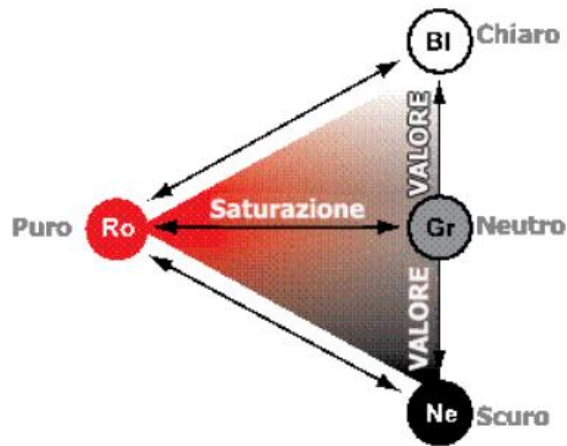


Fig.10
Schema tonalità, saturazione,
luminosità

In conclusione, i parametri più utilizzati per definire un colore sono:

1) modelli HSB o HSV (fig.11):

- Tonalità (tipo di colore)
 - Saturazione (purezza del colore)
 - Luminosità (quantità di luce emessa)
- e HSL (fig.12):

- Tonalità (tipo di colore)
- Saturazione (purezza del colore)
- Chiarezza/Brillanza (quantità di luce emessa)

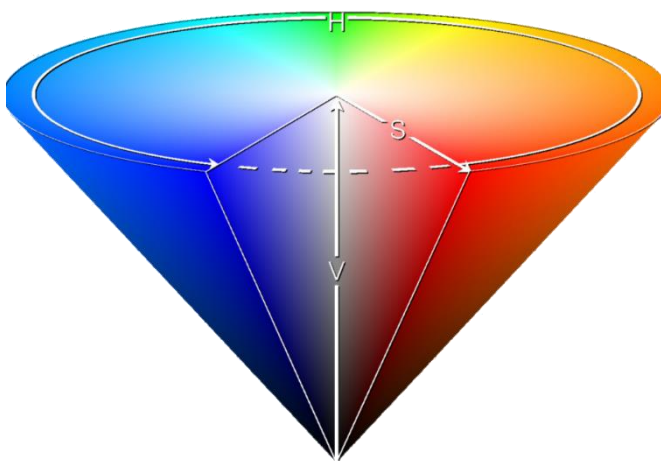


Fig.11
Modello HSV



Fig.12 modello
HSL

2. Principi di fisica del suono

Immaginare una vita senza suono non è semplice, esso, in effetti, è ovunque intorno a noi; basti pensare alle voci delle persone che parlano in strada, ai dialoghi nei film provenienti dalle TV accese, alla musica che si propaga dalle radio o dallo stereo. Ma che cos'è il suono e come si muove? Come riesce a propagarsi nell'aria e giungere alle nostre orecchie?

2.1. Cos'è il suono?

La domanda sembra semplice, ma non è così semplice dare una risposta. Secondo la definizione fisica “il suono è una vibrazione che si propaga come un'onda acustica, attraverso un mezzo di trasmissione, come ad esempio l'aria, un gas, un liquido o un solido”³.

Facendo riferimento alla fisiologia e alla psicologia, il suono rappresenta la ricezione di queste onde che vengono poi percepite ed elaborate dal cervello. Le onde acustiche, per essere percepite dall'orecchio umano, devono avere un range di frequenza compreso tra i 20Hz e 20 kHz.

Per esempio, gli ultrasuoni, rappresentano onde sonore con frequenze superiori a 20.000 Hz, pertanto non percepibili dall'orecchio umano. Le proprietà fisiche degli ultrasuoni non sono differenti da quelle del suono udibile, semplicemente l'essere umano non è in grado di ascoltarli. “I dispositivi a ultrasuoni funzionano con frequenze da 20 kHz fino a diversi gigahertz”⁴.

Per esempio, l'ecografia medica fa uso degli ultrasuoni per curare alcune malattie.

Due parametri fondamentali utilizzati per misurare un'onda sono: l'ampiezza e la frequenza. L'ampiezza misura il grado di energia

³ Cos'è il suono e come si propaga nell'aria - reccom.org

⁴ *Ibidem*

delle particelle in movimento, mentre la frequenza misura il numero di vibrazioni nell'unità di tempo.

La velocità di onda è sempre in funzione del mezzo che la trasporta. La lunghezza dell'onda λ è definita dal rapporto tra velocità c e frequenza f secondo la formula: $\lambda=c/f$.

“Le vibrazioni viaggiano nell'aria a una velocità di 343 m/s a temperatura ambiente di 20 °C”.⁵ La velocità sale a seconda del mezzo, per esempio attraverso l'acqua la velocità è di circa 1482 m/s mentre nell'acciaio arriva a 5960 m/s. Quando l'onda si trova ad attraversare una sostanza gassosa, la sua velocità sarà inferiore, questo per via del legame che vi è tra le molecole che risulta essere molto meno compatto rispetto a quello degli elementi solidi.

Il suono viaggia velocemente, ma non è paragonabile alla velocità della luce che si muove a 300.000 chilometri al secondo. L'esempio classico per capire la differenza è il fulmine: l'apparizione del fulmine in cielo anticipa di pochi secondi il suono che produce.

La sua velocità è però condizionata dal mezzo in cui si propaga nonché dalle condizioni ambientali. Per esempio, lo spessore del mezzo determina la velocità di propagazione del suono che lo attraversa.

Gli atomi in un mezzo solido sono molto più fitti, di conseguenza, il suono viaggerà più velocemente. Se il mezzo è liquido, i legami non saranno così compatti, portando le onde a muoversi più lentamente rispetto ai mezzi solidi.

La potenza irradiata dalla sorgente sonora viene chiamata: “pressione sonora”. La pressione sonora è l'effetto derivante dalla potenza sonora che viene immessa nel sistema da una sorgente.

“Quello che “ascoltiamo” è la pressione sonora, ma è causata dalla potenza sonora emessa dalla sorgente”.⁶

⁵ Cos'è il suono e come si propaga nell'aria - reccom.org

⁶ *Ibidem*



Fig.13
Pressione sonora

La distanza dalla sorgente varia la pressione sonora percepita dall'orecchio, tanto più si è distanti dalla sorgente, minore sarà la pressione sonora percepita (fig.14).

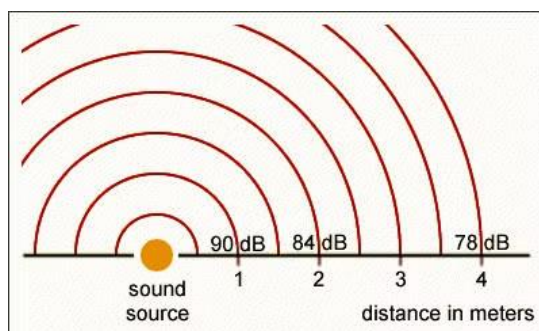


Fig.14
Propagazione onde. Pressione
sonora alla diversa distanza.

Anche le dimensioni di una stanza e il tipo di superfici agiscono sull'onda sonora (fig. 15 e 16).

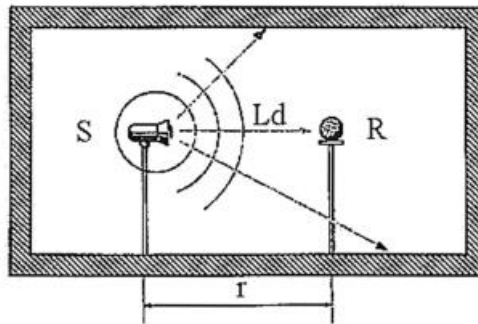


Fig.15

Rappresentazione dell'energia sonora in un ambiente chiuso non riflettente (pareti, soffitto e pavimento completamente assorbenti)

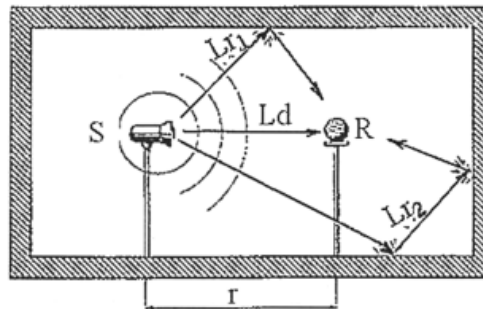


Fig.16

Rappresentazione dell'energia sonora in un ambiente chiuso riflettente

Per potenza sonora, va intesa l'energia che viene irradiata da una sorgente nell'unità di tempo. L'intensità sonora è il rapporto tra l'energia e la superficie che essa attraversa nell'unità di tempo, pertanto $I = E / \Delta t \cdot S$. Essendo la potenza il rapporto tra energia e tempo, l'intensità può essere scritta come $I = P / S$.

Va sottolineato che l'intensità del suono è una quantità di tipo vettoriale in quanto, l'energia che produce si misura in funzione della direzione del flusso; pertanto, non può essere uguale in tutte le direzioni (fig. 15, fig. 16).

L'intensità del suono viene misurata in dB. Questa unità di misura mette a confronto due tipi di pressione, di conseguenza è necessario indicare una pressione di riferimento.

Quando misuriamo l'intensità del suono nell'aria, prendiamo come pressione di riferimento "20 microPascal", nell'acqua tale valore sarà differente.

2.2 Caratteristiche fisiche di un'onda sonora

2.2.1 Ampiezza

L'ampiezza di un'onda sonora è il parametro che ne determina l'intensità. Il suono, quando si propaga attraverso un mezzo, trasmette anche una certa quantità di energia. Pertanto, ogni fonte acustica, durante l'emissione di un'onda genera un livello di potenza. Questo ci permette di quantificare l'intensità del suono.

Tuttavia, la nostra percezione del suono non è direttamente proporzionale alla sua intensità: se, partendo da un certo valore base, l'intensità aumenta di dieci, cento, mille volte, noi percepiamo un suono due, tre o quattro volte più «forte». Per queste ragioni è utile introdurre una misura della sensazione sonora, che si chiama **livello di intensità sonora** ed è misurata in dB (decibel). L'escursione tra il valore minimo e il valore massimo raggiungibile non rende facilmente comprensibile la differenza di livello sonoro. Se consideriamo la variazione della pressione sonora, riscontriamo come essa varia entro un intervallo compreso fra 20 microPa, soglia d'udibilità, a 63,2 Pa, soglia del dolore, con un'escursione avente il valore di 106. Questa unità di misura è stata pensata per comprimere le distanze fra i numeri di diversi ordini di grandezza.

Un'onda sonora può essere semplice o complessa:

Un'onda **semplice** equivale ad un suono puro.

Un'onda **complessa** è costituita dall'insieme di più onde acustiche sovrapposte.

Un esempio di suono puro è quello trasmesso da un diapason⁷ quando vibra fig.17.

⁷ Il diapason è una barra di acciaio piegata a forma di U. Quando viene colpito in uno dei due rami, il diapason comincia a vibrare emettendo un'onda sonora sinusoidale (suono puro).

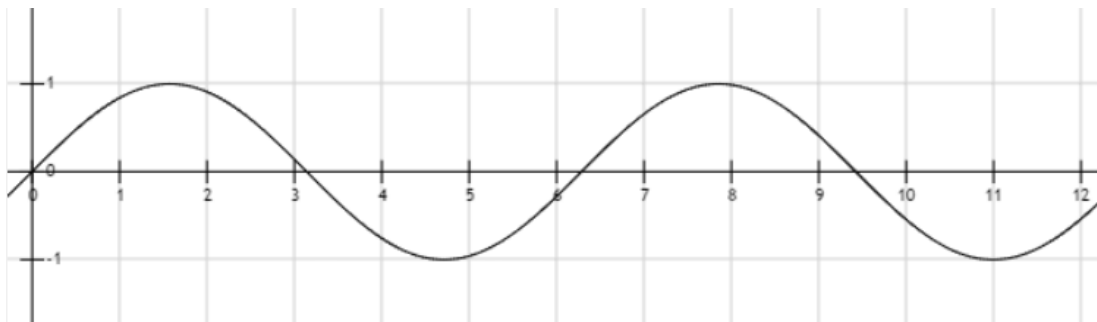


Fig. 17
Onda sonora sinusoidale generata da un diapason.

Più grande è la vibrazione, maggiore sarà l'ampiezza dell'onda; pertanto, l'ampiezza rappresenta l'intensità (o potenza) del suono (fig.18). L'unità di misura con la quale si misura la potenza del suono è W/m^2

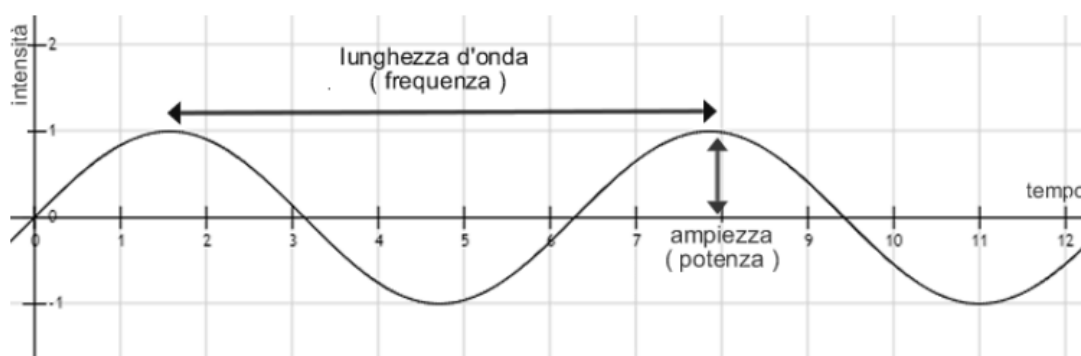


Fig.18
Parametri dell'onda sinusoidale

2.2.2 Frequenza

La lunghezza d'onda è un parametro fondamentale per determinare la frequenza di un'onda sonora.

Frequenza (f) e lunghezza d'onda (λ) sono inversamente proporzionali ($f=1/\lambda$); minore è la lunghezza d'onda, maggiore è la

frequenza, ossia il numero di cicli che l'onda arriva a compiere in un secondo.

Esempio: l'onda "B" compie un numero di oscillazioni complete maggiori in un secondo rispetto l'onda "A". L'onda "A" ha una lunghezza d'onda maggiore. Pertanto, l'onda "A" ha una frequenza minore dell'onda "B" (fig.19).

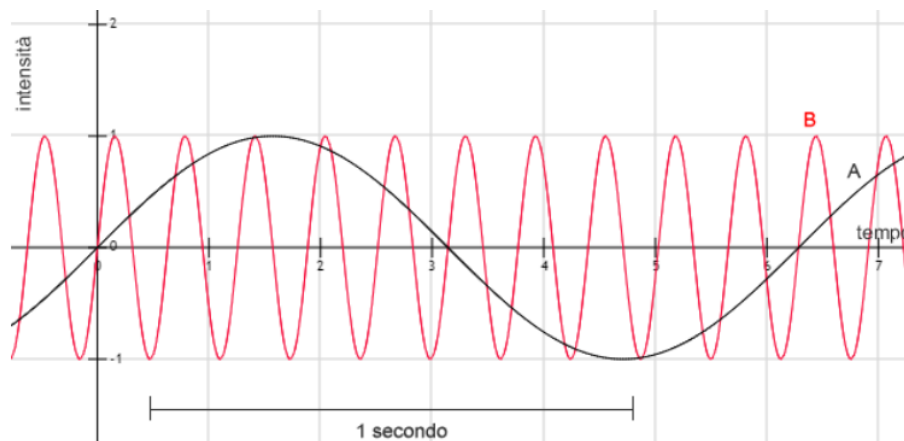


Fig.19
Confronto tra onde sonore
sinusoidali

I suoni a frequenze minori risultano gravi mentre quelli a frequenze maggiori acuti, questo parametro viene definito: **“altezza del suono”**. Un suono è tanto più alto quanto maggiore è la frequenza dell'onda sonora che lo produce.

L'unità di misura per la frequenza dei suoni è l'Hertz (Hz).

Un Hertz misura il numero dei cicli completi compiuti dall'onda in un secondo ($\text{Hz}=1/\text{s}$).

L'uomo è in grado di udire soltanto i suoni compresi in un range di frequenze da 16 a 20.000 Hertz. Al di sotto di tali frequenze parliamo di infrasuoni, al di sopra di ultrasuoni.

Sia gli infrasuoni che gli ultrasuoni non sono udibili dall'orecchio umano.

2.2.3 Timbro

Il timbro rappresenta la forma dell'onda sonora. Per esempio, il timbro sonoro che ha origine dalla tromba è diverso da quello che ha origine dalla chitarra.

In figura 20 sono rappresentate due onde sonore con timbro differente. Come già abbiamo scritto sopra, il diapason emette un suono puro chiamato armonica. Le due onde sonore inserite nel diagramma cartesiano mostrano forme differenti, l'onda A rappresenta una sinusoide perfetta, la sorgente (B) emette invece un'onda con stessa lunghezza e ampiezza dell'armonica (A), ma con una forma diversa.

Come è evidente dall'immagine le due onde sonore mostrano una forma differente e se ne deduce che anche il timbro sia differente.



Fig.20

Due onde sonore con stessa frequenza e ampiezza ma timbro diverso

Per quale motivo le onde sonore mostrano queste differenze?
Tutte le onde sonore complesse sono composte da sovrapposizioni di onde sonore più semplici dette armoniche (fig.21).

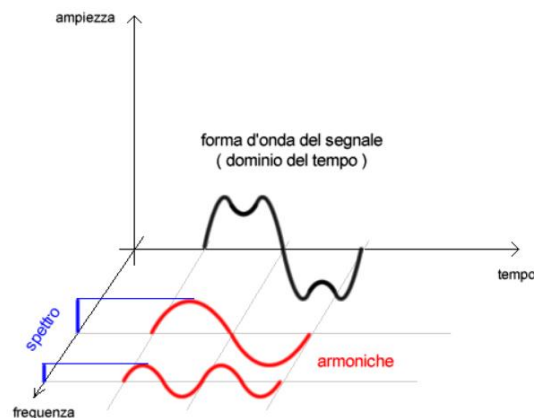


Fig. 21
Somma di armoniche

Quando si parla di sovrapposizione abbiamo sempre un certo numero di onde, quando riguarda molte onde definiamo l'onda come rumore.

In conclusione, il timbro dell'onda sonora dipende dalle armoniche che la compongono.⁸ La qualità del suono è determinata dal timbro, esso ci permette di distinguere il suono proveniente da fonti diverse. Se il suono emesso avrà un timbro piacevole, la sua qualità sarà più elevata.

Gli strumenti musicali producono diverse armonie con volumi distinti, tali differenze di suono prodotto possono essere distinte tra i vari strumenti (fig.22).

⁸ <https://www.andreaminini.org/fisica/suono/onda-sonora>

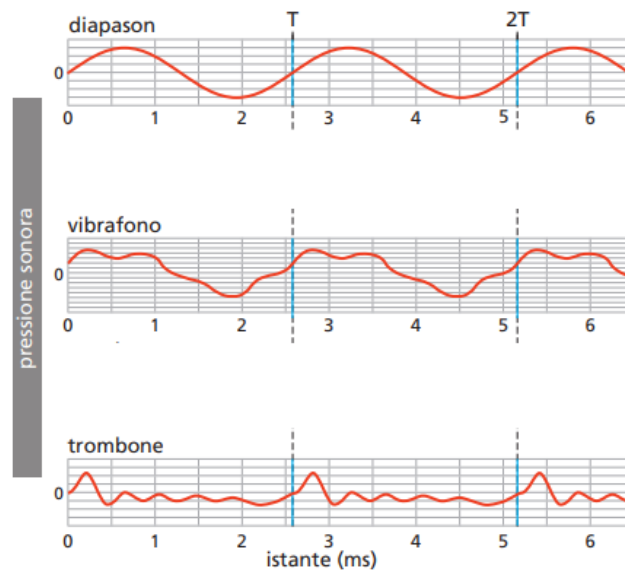


Fig. 22
Onde sonore emesse da
strumenti differenti

Secondo Fourier tutte le onde sonore possono essere scomposte in più sinusoidi, finché esse siano tutte onde sonore sinusoidali e periodiche, ossia si ripetano nello stesso modo in un certo lasso di tempo.

2.2.4 Periodo

La definizione di periodo è indicata come il tempo che passa tra un punto specifico in cui viene a crearsi la massima pressione dell'onda e il punto in cui il fenomeno si ripete. Può essere visto anche come la distanza tra le due creste di un'onda o il tempo impiegato da una molecola per compiere un'oscillazione completa.

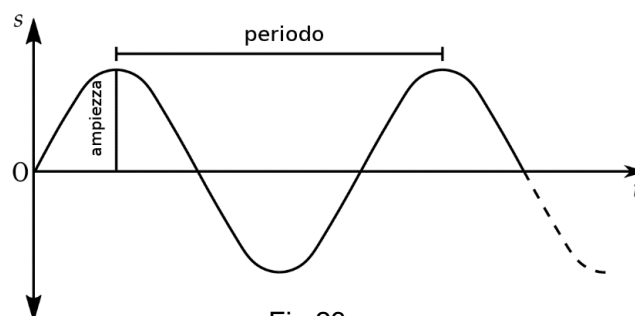


Fig.23
Onda armonica

2.2.5 Velocità di propagazione.

Nell'intervallo di tempo di un periodo l'onda va avanti di una lunghezza d'onda. Quindi l'onda periodica si propaga alla velocità $v = \lambda/T$, essendo $f=1/T$ possiamo anche scrivere $v=\lambda*f$. Per calcolare la velocità di un'onda bisogna misurare il periodo, durante il quale la sorgente compie un'oscillazione completa, e la lunghezza d'onda. Lunghezza d'onda e periodo sono inversamente proporzionali, minore sarà T , maggiore sarà la velocità di propagazione dell'onda.

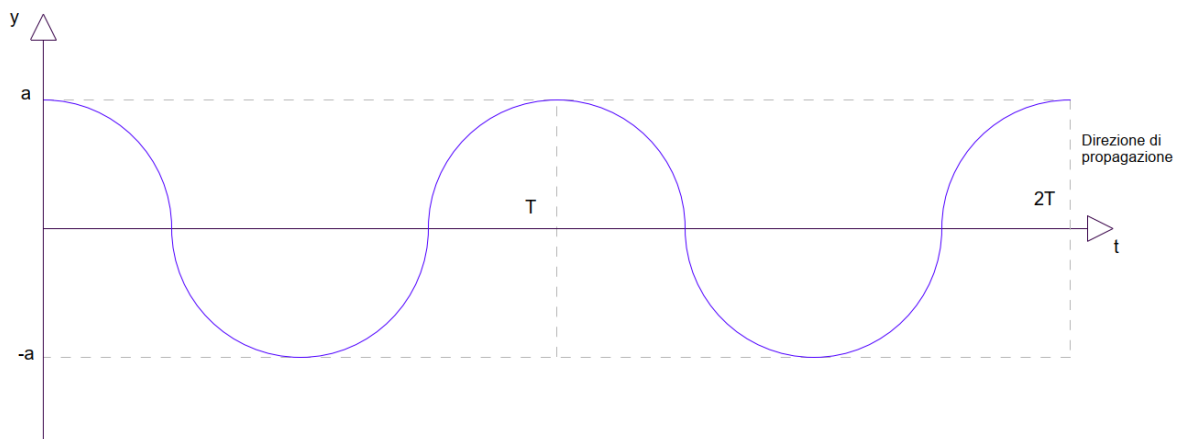


Fig. 24
Velocità di propagazione
dell'onda

La velocità di propagazione è un parametro che non va confuso con la velocità di un'onda in un mezzo solido, quest'ultimo dipende dalle proprietà fisiche del mezzo stesso (modulo elastico e densità), La velocità di onda sonora all'interno dell'acqua, è differente rispetto ad un'onda che attraversa un oggetto metallico e così via.

2.2.6 Lunghezza d'onda

La lunghezza d'onda è la distanza tra due picchi dell'onda stessa, che vengono chiamati **creste**, mentre la distanza tra i due punti minimi viene chiamata **avvallamento** (fig.25). Per indicare la lunghezza d'onda si usa il simbolo " λ " (Lambda). Lambda può essere misurata con diverse unità di misura (m, mm, nm, etc.).



Fig.25
Lunghezza d'onda

In sintesi, la lunghezza d'onda può essere definita come la distanza che intercorre tra due creste o depressioni consecutive, e viene misurata in direzione del moto dell'onda.

Quando ci troviamo di fronte ad onde sonore più compatte, possiamo dire che la lunghezza d'onda è piccola, pertanto verranno prodotti toni più alti, mentre quando abbiamo una distanza maggiore tra le onde sonore, verranno prodotti suoni con tonalità più bassa. Onde con frequenze più elevate raggiungeranno l'ascoltatore più rapidamente di un'onda a bassa frequenza. Di conseguenza la lunghezza d'onda e la frequenza sono inversamente proporzionali ($\lambda = v/f$).

3 Colori e note

Sia nella sequenza cromatica che in quella armonica delle note musicali, vengono utilizzati parametri come la frequenza e la lunghezza d'onda, per indentificare i colori e le note. Fin dai tempi antichi le due sequenze sono oggetto di interesse da parte degli studiosi. I colori e la musica hanno sempre affascinato l'uomo e hanno generato grandi espressioni a livello artistico.

3.1 Sequenza cromatica (colori)

Parlando di colori è impossibile non pensare a Newton con "la teoria della luce e del colore" o a Goethe con "la teoria dei colori". Nel primo capitolo è stata presentata la teoria dei colori di Newton. In ordine di importanza è giusto però fare anche un breve accenno alla teoria di Goethe.

Goethe non era convinto in merito all'esattezza della teoria di Newton e notò che operando delle modifiche alle condizioni di osservazione cambiava anche l'effetto risultante. Un esempio poteva essere quello di modificare la distanza tra il prisma e il muro. Attraverso i suoi esperimenti Goethe capì che la scomposizione della luce bianca in colori avveniva solo se lo sfondo era scuro, invece, utilizzando una semplice parete bianca la scomposizione nei colori dello spettro non si produceva. Di fatto, gli stessi esperimenti compiuti da Newton erano stati svolti all'interno di una camera buia in modo da poter permettere la percezione dei colori dello spettro. Pertanto, appare evidente che senza il contributo del buio o di una scarsa luminosità, nessun raggio di luce è in grado di apparire nella sua composizione spettrale. Perciò, in conclusione Goethe afferma che i colori non sono contenuti nella luce ma sono frutto dell'interazione tra luce e buio; la manifestazione dei colori è quindi figlia di una polarità. Questa teoria era già stata supposta da alcuni antichi filosofi greci: Empedocle, Platone e Aristotele.

La differenza fondamentale tra Newton e Goethe era che il primo utilizzava un approccio quantitativo non considerando aspetti soggettivi che vedeva come illusioni ottiche, mentre per il secondo questo non era accettabile perché primeggiava per lui l'aspetto qualitativo. Secondo Goethe, per tutto ciò che concerne i fenomeni naturali l'aspetto soggettivo rimane quello di primaria importanza. Questa può essere vista come la classica differenza tra un approccio scientifico e uno filosofico in riferimento ai fenomeni naturali.

Va comunque sottolineato che Goethe escludeva qualsiasi possibilità di poter unificare colore e suono, egli non negò che tra colore e suono ci fosse un rapporto, ma sosteneva che le due teorie viaggiavano su binari differenti anche se originate dallo stesso punto di partenza, pertanto non possono essere paragonate. Nonostante colore e suono hanno per certi versi lo stesso comportamento, considerando la loro natura di dividersi e di unirsi, lo fanno seguendo leggi fisiche differenti che vengono percepite da sensi differenti.

Goethe ritiene che la musica debba essere sciolta nei suoi primi elementi fisici per poter essere correlata al colore; sarebbe necessario quindi uno studio fisico che vada a snaturare la natura empirica della musica. È proprio in quegli anni che fisici come Lagrange stavano studiando la natura fisica del suono, ma i più grandi risultati si sono poi raggiunti intorno al 1850 con Herman von Helmholtz che fu il primo a creare un'associazione tra musica e colore basata su dati scientifici.

Dopo questi brevi cenni alle teorie affascinanti di Newton e Goethe, andiamo ora a porre l'attenzione e ad analizzare la sequenza cromatica definita da Johannes Itten nel suo **cerchio cromatico**.

Johannes Itten è stato un pittore e designer famoso per essere il padre della classificazione dei colori. Era più interessato all'effetto che i colori hanno sulle persone che non al fenomeno fisico in sé, privilegiando le proprietà estetiche e comunicative del colore.

*Solo a chi lo ama il colore manifesta tutta la sua
bellezza e la propria intima essenza. Può essere usato
da chiunque ma solo a chi lo adora appassionatamente
svela il suo profondissimo mistero.*
Johannes Itten⁹

Per la definizione del cerchio cromatico di Itten, si parte dalla rappresentazione dei 3 colori primari (giallo, rosso e blu) rappresentati in un triangolo (fig 26).

COLORI PRIMARI

- rosso
- blu
- giallo



Fig.26
Triangolo dei colori primari

Il triangolo dei colori primari viene poi rinchiuso all'interno di un esagono per la definizione dei 3 colori secondari (fig.27) che nascono dalla mescolanza dei due primari.

⁹ <https://www.iltettodellenuvole.com/il-cerchio-di-itten/>

COLORI SECONDARI: ottenuti mischiando 2 primari

- giallo + blu = verde
- rosso + blu = viola
- giallo + rosso = arancio



Fig.27
Colori primari e secondari

Infine, si arriva alla definizione del cerchio cromatico (fig.28) dove compaiono, in aggiunta ai colori primari e secondari, i 6 colori terziari, nati dalla somma di un primario e di un secondario. Con l'utilizzo di questo cerchio siamo in grado di creare diverse tipologie di armonie dei colori.

COLORI TERZIARI: ottenuti mischiando 1 primario con 1 secondario
(ad esempio)

- giallo + arancio = ocra
- arancio + rosso = vermiglio
- rosso + viola = magenta
- viola + blu = indaco
- blu + verde = turchese
- verde + giallo = verde giallo



Fig.28
Cerchio cromatico

3.2 Sequenza armonica (note musicali)

L'associazione suono e note musicali viene quasi spontanea. Le note, infatti, rappresentano un esempio di struttura a modo ondulatorio che normalmente viene associata al suono. Quando si parla di note musicali naturali ci si riferisce alle note senza alterazioni di diesis o bemolle. Le note musicali, che noi tutti conosciamo, nascono nell'antica Grecia e fu Pitagora a dare un grande contributo allo studio del distanziamento dei suoni tramite calcoli matematici. Dagli scritti che ci sono pervenuti, pare che fu proprio Pitagora a scoprire che se si prende una corda e la si divide a metà, una volta suonata, andrà a produrre lo stesso suono prodotto dalla corda intera, ma di un'ottava maggiore.

In passato esistevano in origine due tipologie di lire¹⁰: una aveva le corde DO RE MI FA e l'altra SOL LA SI DO. In entrambi gli strumenti, il distanziamento di tono tra le note era "tono-tono-semitono" (i semitoni erano inseriti, tra MI e FA e tra SI e DO). Le note musicali esistevano ancora prima di Pitagora ed erano disposte come sopra riportato, esse venivano denominate tetracordo (cioè quattro corde). L'unione dei tetracordi si deve a un poeta di Lesbo, Terpandro di Antissa, questa unione diede origine alla lira eptacordo, ossia a sette corde. Dall'unione dei due precedenti tetracordi venne omessa l'ultima nota ripetuta (il DO); la sequenza che ne derivava era la seguente:

DO (tono) RE (tono) MI (semitono) FA + SOL (tono) LA (tono) SI.

L'ultima nota del secondo tetracordo, corrispondente ad un semitono, veniva eliminata ed i due tetracordi furono uniti dal FA al SOL, dove si decise di porre la distanza di un tono tra le due note. Fu l'invenzione di Terpandro a generare la scala di Do Maggiore così come la conosciamo oggi:

DO (tono) RE (tono) MI (semitono) FA (tono) SOL (tono aggiunto) LA (tono) SI (semitono) DO. Da questa scala vengono generate le altre scale.

Dall'unione delle due lire nasce dunque la teoria musicale europea-occidentale, attualmente in uso.

I Greci, però, preferivano utilizzare le lettere dell'alfabeto per denominare le note; pertanto, qual è l'origine dei nomi attuali delle note?

Questi si devono al monaco Guido d'Arezzo, il quale, intorno l'anno Mille, compose un canto gregoriano, dove i primi sette versi iniziavano con una nota diversa. Le note in sequenza salivano sempre di un grado.

¹⁰ La lira è uno strumento molto simile ad un'arpa in miniatura.

Di seguito il testo dei primi sette versi:

“UT queant	laxis
RE sonare	fibris
MI ra	gestorum
FA muli	tuorum
SOL ve	polluti
LAB ii	reatum
Sancte Iohannes”	

Dopo qualche secolo, **UT** divenne **DO** e la **S** e la **I** di “Sancte Iohannes” vennero unificate in **SI**, l’unica nota che non viene cantata nel brano; ciò è dovuto sia al fatto che la musica medievale non prevedeva l’uso dell’ultima nota di una scala, chiamata sensibile, sia al fatto che la **S** e la **I** sono staccate.

Le note inserite in una melodia, sono messe in reciproca relazione funzionale tra di loro, in questo modo è possibile riconoscere le relazioni durante l’ascolto di un brano. Le note hanno necessità di essere raggruppate e ordinate in modo da avere una serie di rapporti acustici numerabili, da qui si viene a creare una successione di suoni e di scale musicali, dove le note compaiono una sola volta.

La sequenza delle note completa utilizza anche i diesis (#) e i bemolle (b) (**scale cromatiche**), che sono alterazioni di un semitono. Queste vengono inserite tra i passaggi di un tono in modo da creare una scala avente 12 note distanziate di un semitono (fig. 29).

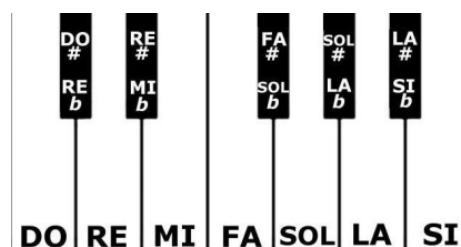


Fig.29
Sequenza note musicali

La scala maggiore è la sequenza nei toni naturali che va dal do1 al do2. La scala inizia e finisce con il do (il do rappresenta la tonica) pertanto viene chiamata scala di do maggiore (fig.30).

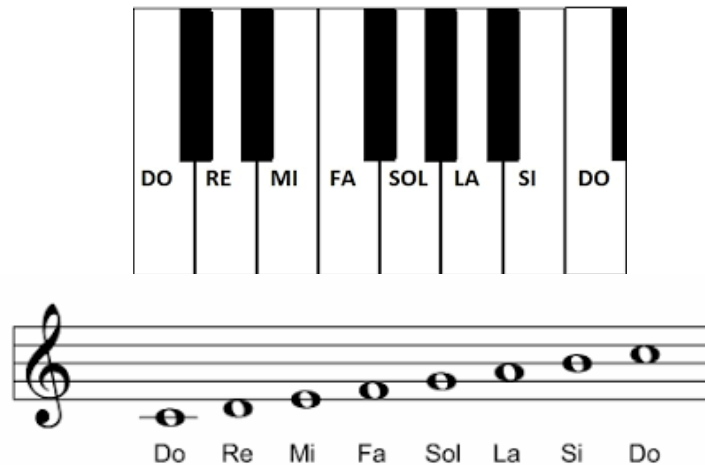


Fig.30
Scala di do maggiore

Il passaggio dal do1 al do2 viene chiamato ottava. Per ottenere altre scale maggiori, è necessaria l'aggiunta dei diesis (#) e dei bemolle (b). Per esempio, se si vuole ottenere la scala di SOL, si partirà del tetracordo sol, la, si, do, andando ad alterare con il (#) il secondo tetracordo alla nota fa che diventerà fa#, in modo da avere la stessa sequenza dei passi di tono (fig. 31).

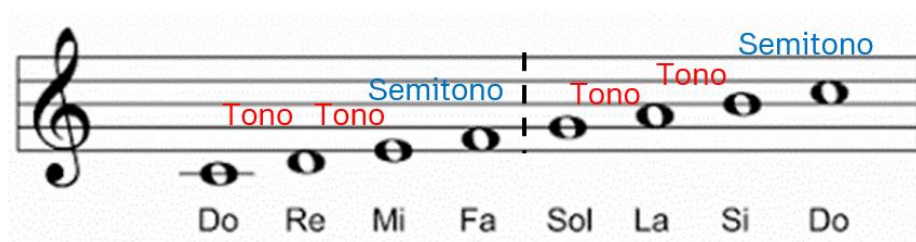


Fig.31
Scala di do maggiore

In funzione di quanto scritto sopra, la scala è una successione di suoni disposti fra loro secondo determinati rapporti intervallati. Come visto negli esempi sopra, nel sistema occidentale moderno

troviamo per lo più scale in cui la serie di suoni si sviluppa per intero nell'ambito di un'ottava.

Tra i tipi di scale esistenti, le più conosciute sono le scale diatoniche e le scale cromatiche.

Nelle **scale diatoniche** le note vengono disposte lungo l'ottava attraverso gradi congiunti (utilizzando cioè intervalli di 2°) e vengono così a formare sette suoni differenti.

Esempio scala di DO maggiore: DO RE MI FA SOL LA SI DO

Nelle **scale cromatiche** le note si susseguono per semitoni e sono quindi formate da 12 suoni diversi.

Esempio scala di DO maggiore: Do, DO#, RE, RE#, MI, FA, FA#, SOL, SOL#, LA, LA# SI, DO

I sette suoni che definiscono la scala diatonica sono chiamati gradi della scala.

Di seguito i nomi convenzionali con cui vengono identificati:

- 1) Tonica (dà il nome della scala)
- 2) Sopratonica (sta sopra la tonica)
- 3) Mediante o Modale o Caratteristica (determina il modo della scala ovvero stabilisce se essa è maggiore o minore).
- 4) Sottodominante
- 5) Dominante (è l'antitesi della tonica, il suo opposto complementare, è ciò che crea la massima tensione)
- 6) Sopradominante (grado di passaggio)

7) Sensibile (se è ad un semitono di distanza dall'ottavo grado) o settima (negli altri casi)

8) Tonica

Il settimo grado chiamato "la sensibile" risulta essere molto importante, in quanto ha la tendenza risolutiva sulla Tonica. Crea la tensione all'interno della melodia creando un senso di massima instabilità, produce una classica sensazione di attesa prima della conclusione. Crea la giusta tensione emotiva nel brano.

Le scale ascendenti sono costituite dalle note che procedono dal suono grave verso quello acuto, mentre le scale discendenti sono formate dalle note che procedono dall'acuto al grave.

Quando la successione delle note è consecutiva si fa riferimento ai gradi congiunti, quando invece è saltuaria si parla di gradi disgiunti. Le scale più utilizzate sono:

- Scala maggiore
- Scala minore

Le due scale sono formate da 7° e si differenziano in base alla posizione dei semitoni.

La scala maggiore, come già scritto in precedenza, è una scala diatonica formata da cinque intervalli di tono e due intervalli di semitono.

I semitoni si trovano tra il 3° e 4° grado, e tra il 7° e l'8° grado della scala.

La scala maggiore viene rappresentata utilizzando la lettera "T" per definire il tono, e la lettera "S", per definire il semitono (come vedremo in seguito, questo tipo di simbologia è utilizzata in tutte le scale).

Di conseguenza, gli intervalli di scala maggiore vengono indicati nel seguente modo: T T S T T T S. (Vedere l'esempio della scala di DO maggiore a pagina 37). Questo metodo vale per tutte le scale maggiori.

All'interno della scala di DO maggiore sono contenute tutte le note senza alterazioni. Partendo da altre toniche (RE, Mi, etc...), avremo sempre una o più note alterate.

La scala minore è una scala eptatonica e diatonica, il cui primo, terzo e quinto grado formano una triade minore. Si costruisce, come la scala maggiore, usando cinque intervalli di tono e due di semitono, ma i semitoni in questo caso si trovano tra il 2° e il 3° grado, e tra il 5° e 6° grado della scala.

Facendo un confronto con la scala maggiore partendo dalla stessa tonica, ci rendiamo conto che le due scale hanno tre note differenti:

Scala minore: DO RE RE# FA SOL SOL# LA# DO

Scala maggiore: DO RE MI FA SOL LA SI DO

Come si vede dall'esempio il 3°, 6° e 7° grado della scala minore naturale risultano abbassati di un semitono rispetto alla scala maggiore.

Attraverso l'uso di queste tre note abbassate abbiamo una melodia che risulta essere più triste e malinconica rispetto a quella della scala maggiore; è importante evidenziare come l'abbassamento del 7° grado di un semitono porti alla perdita della nota sensibile e come conseguenza questa scala risulta quindi avere una minore capacità di risolvere e di concludere.

Esistono tre tipi di scale minori:

- La scala minore naturale
- La scala minore armonica
- La scala minore melodica

Come abbiamo visto nell'esempio sopra, usando il Do come tonica, ci troviamo ad avere sempre note alterate. L'unico modo per non avere alterazioni utilizzando una scala di tipo minore è fare uso

della scala di La minore (Fig. 32), questa come vediamo sotto è priva di alterazioni.

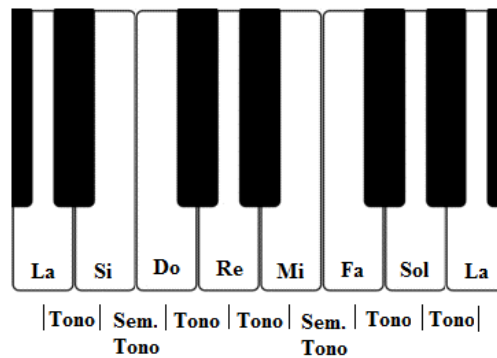


Fig.32
Scala di LA minore

In elenco un breve riepilogo di alcune delle scale più utilizzate:

- **La scala pentatonica maggiore** è una scala diatonica maggiore di cui sono stati eliminati il 4° e il 7° grado della scala.

DO RE MI SOL LA DO

T T T+S T T+S

- **La scala pentatonica minore** è una scala minore naturale di cui sono stati eliminati il 2° e il 6° grado della scala.

LA DO RE MI SOL LA

T+S T T T+S T

- **La scala esatonale** è una scala costruita esclusivamente con intervalli di tono, sei in tutto.

DO RE MI FA# SOL# LA# DO

T T T T T T

- **La scala aumentata** è una scala esatonica formata da tre intervalli di un tono e mezzo posizionati tra il 1° e il 2°, tra il 3° e il 4° e tra il 5° e il 6°.

DO RE# MI FA# SOL# SI
T+S S T T T+S

- **La scala diminuita (tono + semitono)** ha una successione di intervalli che è stata costruita separando ogni grado della scala in questo modo toni e semitoni vengono alterati. Come si può vedere sotto nella sequenza il passaggio è sempre tono-semitono-tono-semitono, etc.

DO RE MI $\flat$ FA SOL $\flat$ LA $\flat$ LA SI DO
T S T S T S T S

- **La scala diminuita (semitono + tono)** è identica alla scala tono più semitono con la differenza che la sequenza è: semitono-tono-semitono-tono, etc.

DO RE $\flat$ MI $\flat$ MI FA# SOL LA SI $\flat$ DO
S T S T S T S T

4 Storia della correlazione tra colori e musica

Pochi fenomeni come la correlazione tra suono e colore sono stati in grado di suscitare interesse in diversi ambiti come ad esempio quello artistico, musicale, scientifico e filosofico.

Quando si fa riferimento al rapporto tra suono e colore spesso viene richiamato un fenomeno detto “sinestesia”, dal greco συν-αισθάνομαι: percepire insieme.

La sinestesia fa la sua comparsa nei primi dell’800, ai tempi veniva considerata poco più di un espediente poetico, principalmente prodotto dalla fantasia.

Il termine “sinestesia” compare però solo intorno agli anni 70/80 del XIX secolo quando particolari studi psicologici legittimarono il fenomeno. In particolare, nel 1980 iniziano ad esserci i primi studi neurofisiologici su soggetti sinestetici. Attraverso gli studi si è potuto osservare che contemporaneamente a esperienze sinestetiche, il cervello attivava aree sensoriali diverse, in seguito fu dimostrato anche attraverso le moderne tecniche di neuroimmagine funzionale.

Fu riscontrata la capacità di attivare più sensi stimolandone solo uno, ad esempio attraverso un odore percepito dall’olfatto venivano attivate percezioni uditive e anche visive. Questa sorta di pluripercezione dello stimolo era legata a un senso solo.

Potrebbe essere proprio a causa di un eccesso di connessioni neurali fra aree anatomiche diverse che si verifica questa attivazione delle aree della corteccia sensoriale, che nella maggior parte di noi funzionano in maniera indipendente.

Diversi studi scientifici attestano che durante il periodo fetale di alcuni mammiferi e nei neonati fino ai tre mesi, i sensi non risultano ben differenziati ma al contrario agiscono tutti insieme sinesteticamente.

Quando l’area corticale giunge a maturazione si ottiene una netta separazione dei sensi e ciò permette una giusta associazione delle varie percezioni. Si pensa che però ciò non accada negli individui

con sinestesia, perché si suppone che in essi un'anomalia genetica impedisca la completa eliminazione di questa iperconnettività infantile, facendo sì che una parte di essa resti anche in età adulta. Questo aspetto suscitò un grande interesse nell'ambito artistico. Un esempio in ambito poetico di inizio Ottocento sono Keats e Schelley che usavano sovente metafore e immagini intersensoriali. Procedendo verso la fine dell'800 si può notare come Rimbaud e i poeti simbolisti affiancavano a immagini visive, quelle sonore o sensazioni olfattive.

Il rapporto tra suono e colore ha condotto a interessanti ricerche in ambito musicale e figurativo. Durante il '900 sono stati molti i pittori che hanno cercato di trovare una relazione tra queste due forme espressive. Si possono citare Klee e Kandinsky per quanto riguarda l'astrattismo, mentre per quanto riguarda la corrente futurista i più attivi furono Pratella, Russolo e Carrà, come rappresentanti del cubismo vanno menzionati Picasso e Braque, senza dimenticarci dell'importanza della Bauhaus nei primi del '900. A metà del '900 si possono citare Schoeffer con l'arte cibernetica e il regista Fischinger. In ambito musicale abbiamo anche diverse opere in cui si vede la connessione tra questi mondi espressivi, qui possiamo citare: Skrjabin, Rimsky-Korsakov, Schoenberg, Webern, Milhaud, Stravinsky, Xenakis.

4.1 Gli antichi greci

I primi a costruire una scala di colori furono i Greci, essi in virtù dei sette pianeti conosciuti decisero di dividerla in sette parti. I trattati di Aristotele sui Colori e sui Suoni sono i testi più famosi nell'ambito delle due tematiche e bisogna riconoscere che la teoria di Aristotele sul colore rimase valida fino al XVII secolo.

4.1.1 Aristotele e i colori

Per Aristotele gli oggetti vengono osservati sempre attraverso un corpo trasparente (diafano) come l'acqua o l'aria, tale corpo è necessario per fare da mezzo tra l'oggetto osservato e l'osservatore. Per far sì che l'oggetto possa trasmettere forma e colore è indispensabile la presenza di luce, nel caso l'oggetto in questione fosse immerso nel buio, la forma e il colore restano attributi dell'oggetto, ma non visibili (fig.33).

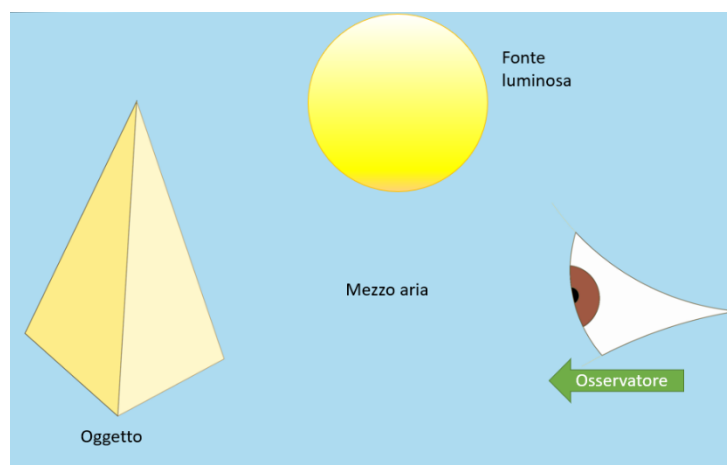


Fig.33
Oggetto visibile attraverso l'aria
(diafano)

Secondo Aristotele, la luce non è una sostanza in sé ma è quindi una proprietà di una sostanza trasparente come l'aria o l'acqua. Il diafano è un corpo attraverso il quale si vede distintamente, cioè attraverso il quale l'oggetto è riconoscibile.

La luce ha tre caratteristiche: non è sostanza e quindi non ha corpo, ma partecipa a rendere l'oggetto corporeo e visibile e quindi ha una dimensionalità derivata da quella del mezzo (acqua o aria). Si può quindi dire che è corporea per partecipazione. Il passaggio di un oggetto dal buio alla luce è immediato, ciò è dovuto alla velocità della luce. Un'altra caratteristica è che la luce non si può vedere ma consente di vedere l'oggetto all'interno del mezzo (acqua, aria).

Aristotele successivamente specifica che il diafano non è più un corpo attraverso cui si può vedere ma è un corpo attraverso cui passa la luce e quindi è questo diafano a dare colore al corpo. Il colore, quindi, dipende dal grado di diafanità.

Ogni corpo è composto dai quattro elementi, ognuno dei quali ha un proprio grado di diafanità, il fuoco ha la massima diafanità, l'acqua ha la minima. Aria e acqua sono diafani in grado diverso perché sono intermedi: l'aria è più vicina al fuoco e quindi è di alta diafanità, l'acqua è più vicina alla terra e quindi è di bassa diafanità. (Fig. 34).

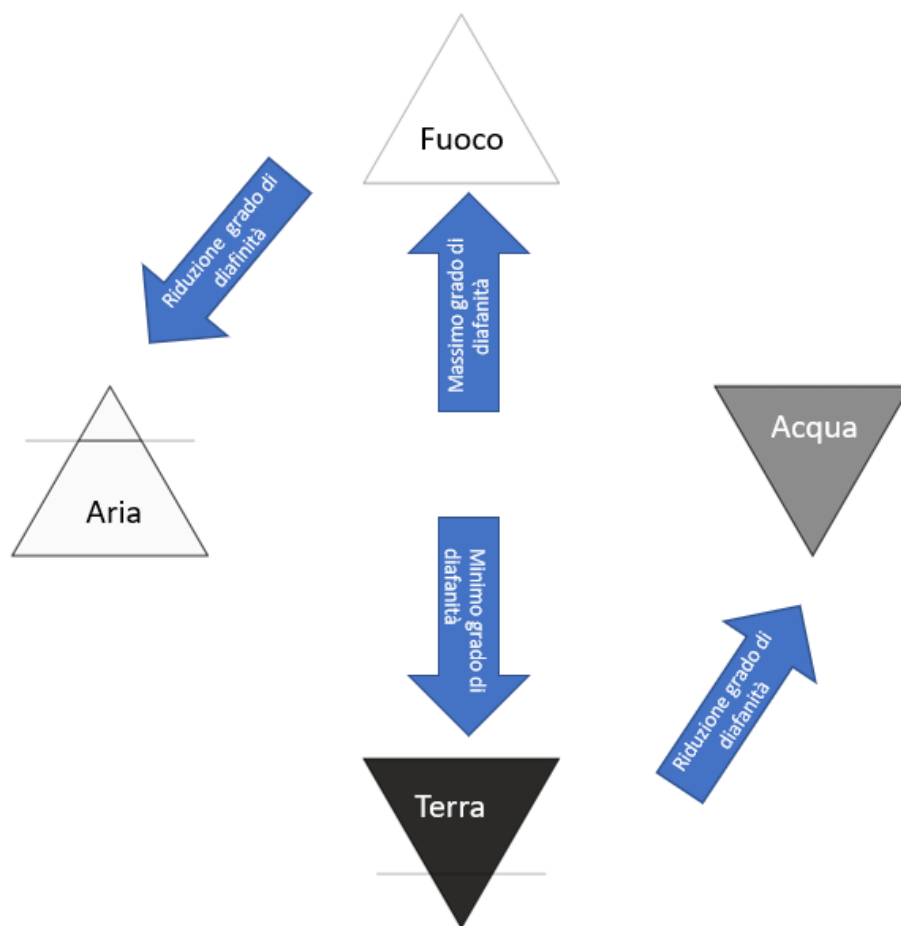


Fig. 34
Grado di diafanità del corpo

Ne deriva che il grado di diafanità di un corpo dipende dal rapporto tra i diversi elementi che compongono il corpo. Se prevalgono

fuoco e aria il grado è alto, se prevalgono acqua e terra il grado è basso.

L'oggetto affetto dalla sua diafanità lo è in potenza internamente, invece, a livello superficiale può essere in potenza nel caso non ci sia una sorgente luminosa oppure attuale nel caso di sorgente luminosa.

Di conseguenza il fuoco produce la chiarezza di un corpo indeterminato privo di bordi, mentre produce il bianco del diafano di un corpo determinato (delimitato da bordi).

Nel mezzo l'assenza di fuoco porta allo scuro, mentre nel corpo determinato porta il nero. Aristotele usa la parola *leucos* per identificare sia il chiaro che il bianco mentre usa *melas* per scuro e nero. Per i Greci il colore è funzione più della luminosità che della tinta.

Possiamo concludere dicendo che: i corpi determinati (con bordi delineati) sono colorati, mentre i corpi indeterminati (privi di bordi delineati, come l'aria) sono illuminati.

I colori quindi si formano per mescolanza del bianco e del nero, e i primi colori sono appunto: bianco, giallo, rosso, viola, verde, azzurro, grigio e nero (fig.35).



Fig.35
I sette colori di Aristotele

4.1.2 Aristotele e la musica

In merito alla musica, Aristotele aveva già nel IV secolo a. C, ben chiaro quale fosse l'importanza che ad essa doveva essere associata, riflettendo sulle qualità benefiche ed educative che essa era in grado di apportare, arrivò a sostenere che la musica “non va praticata per un unico tipo di beneficio che da essa può derivare, ma per usi molteplici”.¹¹

Per affrontare la visione della musica da parte di Aristotele, dobbiamo appoggiarci a riferimenti mitologici come: “il mito di Orfeo”. Com'è noto, la leggenda narra del potere della sua cetra, che, secondo la leggenda, poteva incantare persino gli animali selvatici. Per Aristotele era chiaro che la musica avesse un impatto significativo sulla mente e sullo spirito dell'uomo, pertanto, andò approfondendo tale argomento, soprattutto in ambito teatrale, laddove essa veniva utilizzata per accompagnare le scene delle tragedie teatrali o durante le cerimonie e le feste pubbliche.

Nell'ottavo libro de La Politica il filosofo riconosce alla musica quattro funzioni differenti:

- il divertimento: la funzione ludica fu la prima ad essere riconosciuta come fondamentale da Aristotele, essa era in grado di alleviare le tensioni e la fatica legate al lavoro, era divertimento e sollievo, due funzioni complementari, ciò che ci rallegra reca sollievo all'anima.
- la funzione di passatempo nobile: qui la musica è vista nella sua funzione contemplativa. Attraverso la musica l'uomo contempla sé stesso e si avvicina a Dio. Qui la musica prende una funzione nobile per la capacità di portare l'uomo ad una condizione di piacere fino a diventare: “pensiero del pensiero”. La musica può portare l'uomo verso il più intimo contatto con sé stesso, al raggiungimento di una nuova consapevolezza. La musica scava nell'animo ed esalta le

¹¹ <https://privatebanking.bnpparibas.it/content/bnlpb/it/it/youmanist/magazine/cultura/aristotele-anima-musica.html>

emozioni fino a sviscerare ciò che si nasconde dietro ad esse. Per tali motivi la musica diventa fondamentale nella parte educativa di un giovane, in quanto può aiutarlo a scavare dentro sé stesso e a comprendere le proprie emozioni. La musica accresce l'intelligenza emotiva dei giovani.

- Educativa: la disciplina e il rigore trasmesso dalla musica, secondo il filosofo, possono essere utili nella formazione del giovane per prepararlo all'ingresso nella Polis, in più, collegandosi sia alla funzione catartica che a quella di passatempo nobile, la musica permette di sviluppare un buon carattere e una buona maturità, in quanto essi sono di fatto una riproduzione dell'animo umano che possono insegnare ad un ragazzo le qualità morali. Buona musica fa buone persone ed ottimi cittadini.
- la catarsi: per catarsi Aristotele intendeva la capacità purificatrice della musica nei confronti dell'ascoltatore. La capacità di eliminare le emozioni dannose e pericolose. La musica porta alla meditazione che porta il distacco della mente umana dalle passioni violente favorendo una vita di tipo contemplativo.

L'aspetto pedagogico della musica, per Aristotele, è un aspetto fondamentale per lo sviluppo cognitivo e morale dell'individuo.

Era evidente per Aristotele, come la musica avesse sulle persone un elevato impatto a livello cognitivo, essa era in grado di modificarne l'umore delle stesse durante l'ascolto. Ciò era ancor più evidente durante i "simposi", dove l'ausilio di uno strumento musicale era in grado di migliorare il coinvolgimento delle persone che vi partecipavano.

All'interno del suo scritto "Sull'anima" Aristotele sosteneva che la musica, come le emozioni, avesse origine dal movimento: *La musica è un movimento che ci coinvolge, mentre le emozioni sono*

ciò che è interno all'uomo, trovando la loro origine nell'anima che "tende sempre verso qualcosa".¹²

In rapporto a questo ragionamento, è evidente come la musica: "cerca di imitare il mutamento delle emozioni"¹³ ed è per tale motivo che quando ascoltiamo una sinfonia possiamo sentirci coinvolti, felici o commossi. "La musica è un'estensione del pensiero emotivo e del passato, perché come una fotografia intangibile ne cattura i ricordi".¹⁴

La musica è in grado di rendere familiari le emozioni che produce nei soggetti che l'ascoltano, toccando più la parte spirituale che quella razionale. L'analisi di queste emozioni predispone l'individuo verso la virtù, pertanto è importante nella formazione della personalità dei giovani.

Tutti questi concetti vengono oggi utilizzati nella "musicoterapia" la quale, attraverso una disciplina da essa creata basata sull'uso della musica, agisce come strumento sia terapeutico che educativo. Questa disciplina nasce da più di 50 anni di studi e ricerche, che sono serviti a comprendere il sistema di apprendimento a livello percettivo dell'essere umano nei confronti della musica, questa, a sua volta, come sostiene il ricercatore e musicista Edwin Gordon, va ad attivare "determinati processi sensoriali e psichici", chiamati da Gordon "audition"¹⁵.

Questo sistema educativo fu intuito da Aristotele più di 2300 anni fa, fu lui ad essere tra i primi a sostenere l'importanza della musica sullo sviluppo dell'individuo, sia in ambito cognitivo che emotivo.

L'ascolto della musica produce nell'individuo la capacità di giungere ad un pensiero di natura critica. La musica accresce la nostra parte emotiva e razionale, porta il soggetto ad evolversi anche nell'ambito sociale; pertanto, è importante coltivare l'interesse musicale per un miglioramento personale che si riflette di

¹² <https://privatebanking.bnpparibas.it/content/bnlpb/it/it/youmanist/magazine/cultura/aristotele-anima-musica.html>

¹³ *Ibidem*

¹⁴ *Ibidem*

¹⁵ *Ibidem*

conseguenza sulla società di cui facciamo parte. La società non esiste senza le persone, delle buone persone fanno una buona società.

“Con la ricerca aristotelica comincia più dettagliatamente e sistematicamente una classificazione delle voci e dei suoni (così come delle impressioni cromatiche), che si estende al di là delle tradizionali denominazioni e opposizioni, e che avrà la sua fortuna nell’ambito della retorica, dell’armonica e della medicina”.¹⁶

L’indagine sui processi della percezione ha raggiunto nella nostra epoca ottimi risultati e l’avanzamento degli studi in tale settore porterà certamente ad altri risultati importanti. È proprio attraverso lo studio della fenomenologia dell’analisi dei colori e dei suoni che tali indagini potranno arrivare a grandi risultati.

4.2 Giuseppe Arcimboldo

Il primo pittore nella storia ad occuparsi del rapporto tra suono e colore è stato **Giuseppe Arcimboldo**. (Milano 1527 – *Ivi* 1593). Milano fu la prima città dove lavorò Arcimboldo, in seguito si spostò a Praga, dove lavorò come pittore di corte per gli imperatori Ferdinando I, Massimiliano II e Rodolfo II. Il lavoro svolto da Arcimboldo in merito all’associazione tra colori giunse a noi dal racconto di Don Gregorio Comanini (poeta e storico italiano 1550 – 1609). Il suo lavoro partì dall’uso del sistema pitagorico per definire le proporzioni armoniche dei toni e dei semitoni, da questi dati creò una corrispondente scala di valori cromatici, accostando il suo senso artistico al metodo scientifico. Attraverso l’uso di un’apposita scala di grigi (fig.37), il pittore creò dei rapporti tra i gradi della scala musicale e la luminosità dei colori. Questo sistema gli fu d’aiuto per dividere il semitono in due parti uguali, in questo modo anticipò concettualmente di molto l’arrivo della scala temperata (1722 Johann Sebastian Bach).

¹⁶ <https://u-pad.unimc.it/handle/11393/43284>

Scrivono Comanini: *“E quanto io dico del color bianco e del negro insieme, dico ancora di tutti gli altri colori; perché, si come egli è ito piano piano ombreggiando il bianco e riducendolo ad acutezza, così ha fatto del giallo e di tutti gli altri, servendosi del bianco per la parte più bassa, che si trovi nel canto, e del verde et insieme dell’azzurro per le parti che son mezzane, e del morello e del tanè¹⁷ per le parti maggiore altezza; essendo che di questi colori l’uno segue et adombra l’altro, perché il bianco è ombreggiato dal giallo, e il giallo dal verde, e il verde dall’azzurro, e l’azzurro dal morello¹⁸, e il morello dal tanè (fig.36), come il basso è seguito dal tenore, e il tenore dall’alto, e l’alto dal canto. Ammaestrato da quell’ordine, Mauro Cremonese della Viuola, musico dell’imperatore Ridolfo II, trovò sul gravicembalo tutte quelle consonanze che dall’Arcimbardo erano state segnate coi colori sopra la carta”.¹⁹*

In sintesi, Arcimbardo scelse i colori, in funzione del fatto che, ogni colore, partendo dal bianco, tende ad avere una tinta più scura man mano che va verso il nero. La sua scelta è puramente di natura soggettiva legata ad una sensazione di natura percettiva e quasi sicuramente deriva dalle teorie sul colore di Aristotele.

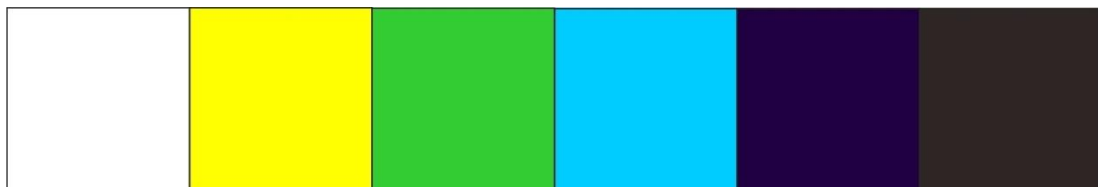


Fig. 36
Scala dei colori in funzione
della scala tonale (Arcimbardo)

Nel racconto fornitoci da Comanini, si fa riferimento allo stadio iniziale delle ricerche di Arcimbardo, il quale purtroppo non lasciò nessuno scritto di tale teoria, di sicuro la sua ricerca voleva arrivare ad una teoria di unificazione tra colori e musica, legati alla percezione.

¹⁷ Colore simile al Torba, al Cioccolato, al Mogano e all'Ebano.

¹⁸ Colore simile al violetto.

¹⁹ <http://www.marcodebiasi.info/breve-storia-del-rapporto-suono-e-colore/>

Arcimboldo, durante il regno dell'Imperatore Rodolfo II d'Asburgo, vestì i cantori del coro polifonico con una veste che riproduceva tonalità e sfumature differenti in funzione del timbro vocale dei cantori.

Possiamo considerare questo come un episodio chiave in virtù di una consapevolezza verso l'importanza della correlazione fra musica e colori che da questo momento in poi coinvolgerà sempre di più pittori, musicisti e scienziati.

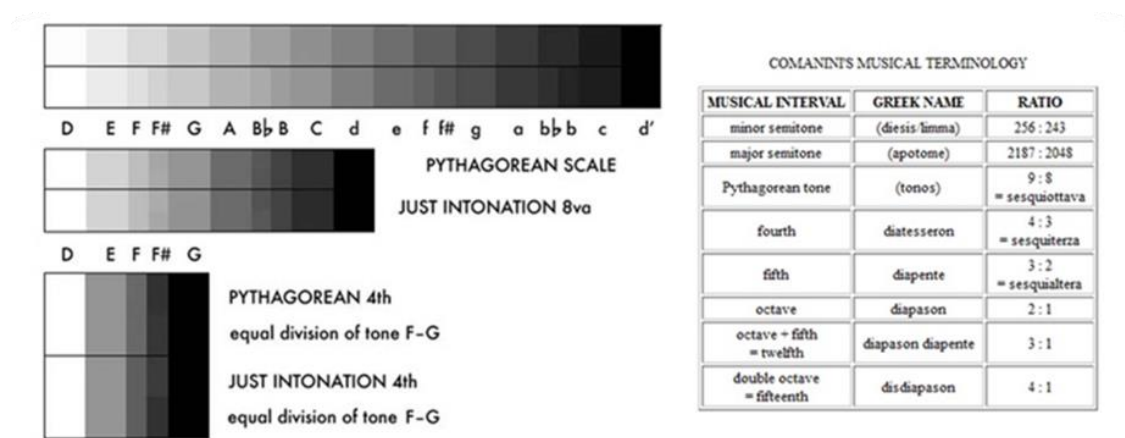


Fig. 37
Scala dei grigi di Giuseppe
Arcimboldo

4.3 Alla ricerca di un metodo scientifico

L'avvento dell'Illuminismo tra fine '600 e inizio '700 e le nuove scoperte tecnologiche verso la fine del '800 hanno dato nuova linfa alla ricerca della corretta attribuzione tra colore e musica, per mezzo di un metodo valutabile oggettivamente. In figura 38 sono elencate tutte le correlazioni fatte fino al 1977.

	Do	Do#	Re	Re#	Mi	Fa	Fa#	Sol	Sol#	La	La#	Si	
Isaac Newton													(1704)
Padre L.B. Castel													(1734)
George Field ^[15]													(1816)
D.D. Jameson ^[14]													(1844)
A. Wallace Rimington													(1893)
Bainbridge Bishop													(1893)
H. von Helmholtz ^[17]													(1910)
Alezander Scriabin													(1910)
Adrian Bernard Klein ^[18]													(1930)
Ira Jean Belmont ^[19]													(1944)
Luigi Veronesi													(1977)

Fig.38
Corrispondenze musica e colori
di diversi autori

4.3.1 Isaac Newton

Newton fu il primo ad osservare una forte corrispondenza tra i sette colori dell'arcobaleno e le sette note della scala musicale. Lui sosteneva la possibilità che anche il colore potesse essere distinto nei suoi gradi principali (rosso, arancio, giallo, verde, blu, indaco e violetto), con lo stesso principio in cui in musica il suono viene graduato attraverso i toni.

Utilizzando un'analogia diretta tra i fenomeni acustici e quelli ottici, nel XVII secolo, Newton correlò i colori dello spettro alle sette note musicali utilizzando gli intervalli presenti nella scala diatonica maggiore, in questo modo fece coincidere, all'aumentare della frequenza di oscillazione della luce nello spettro cromatico, quello del suono in funzione della sequenza crescente delle note dal Do al Do.

Newton scrisse: "ho trovato che queste osservazioni concordano abbastanza bene con un'altra, e che le rette parallele MG ed FA sono divise dalle suddette linee verticali allo stesso modo delle note musicali. Consideriamo la retta GM in relazione a X, e poniamo che MX sia uguale a GM, quindi consideriamo che le rette GX, λ X, ι X, η X, ϵ X, γ X, α X, MX siano tra loro in proporzione come i numeri, 1, 8/9, 5/6, 3/4, 2/3, 3/5, 9/16, 1/2. In questo modo verranno rappresentati l'intervallo di unisono, il tono, la terza minore, la quarta, la quinta, la sesta maggiore, la settima e l'ottava superiore: allo stesso modo gli intervalli M α , $\alpha\gamma$, $\gamma\epsilon$, $\epsilon\eta$, $\eta\iota$, $\iota\lambda$, e λ G, indicheranno gli spazi occupati dai rispettivi colori (rosso, arancio, giallo, verde, blu, indaco, violetto)" (fig.39).²⁰

²⁰ <https://www.musicologica.it/le-note-sono-sette-come-colori-arcobaleno/>

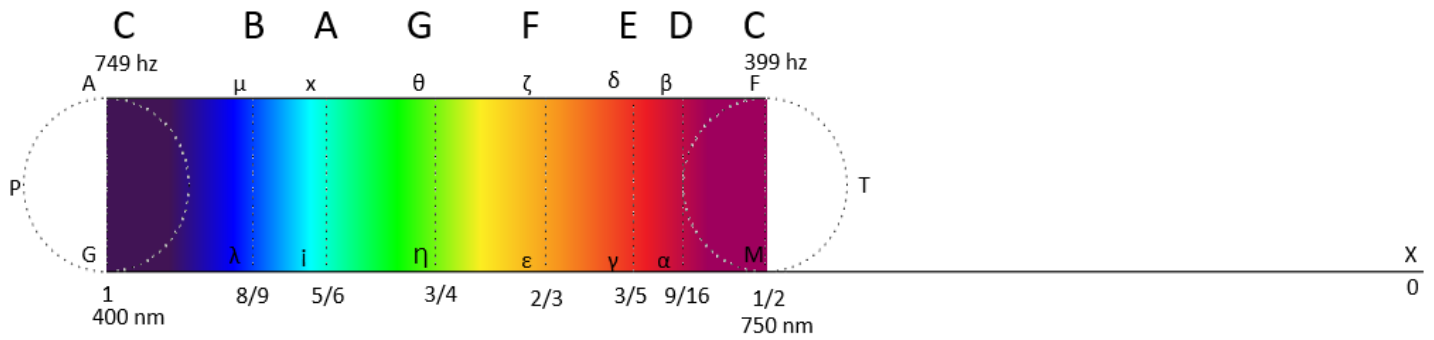


Fig.39
Suddivisione di una retta in accordo con
gli intervalli di unisono

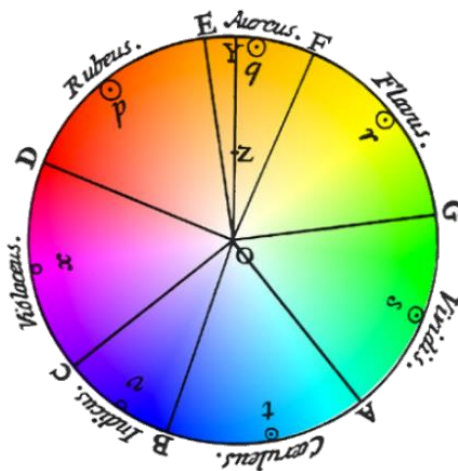


Fig.40
Cerchio cromatico di Newton.

4.3.2 Padre Louis Bertrand Castel

Si attribuisce a Padre Louis Bertrand Castel (1688-1757) la realizzazione pratica dell'idea di Newton. Matematico e filosofo francese, Padre Louis, era un profondo conoscitore delle teorie dei colori inerenti la sua epoca. Egli partendo dai concetti di Newton, nonostante li ritenesse errati per via del fatto che in funzione della distanza del prisma la sequenza dei colori non veniva rispettata, sviluppò un sistema di relazioni tra colori e musica, ma ciò che venne preso in considerazione non furono tanto i rapporti esistenti tra gli intervalli della scala musicale e quelli relativi ai colori dello spettro, bensì egli valutò una corrispondenza diretta tra nota e colore. In questo modo poté liberarsi di tutti i concetti cosmologici dando il via ad una vera e propria forma d'arte.

Padre Castel, al di là dei fattori di tipo speculativo scientifico che erano alla base del suo studio, era mosso anche da finalità etiche e pratiche. Alla luce di questi presupposti diede vita all'idea di costruire uno strumento in grado di trasformare il suono in colore, l'idea non era solo legata alla possibilità di creare una particolare forma d'arte, ma aveva uno scopo assai più nobile, quello di poter far vedere la musica alle persone non udenti. Attraverso una ricerca e uno studio di circa trent'anni, passando da vari tentativi, riuscì a costruire differenti modelli di "clavicordo colorato" "Clavecin Oculaire" (fig.41) o anche "Clavecin pour les yeux, avec l'art de peindre les sons, et toutes sortes de pièces de musique" (*Clavicembalo per gli occhi, con l'arte di pitturare i suoni, e ogni sorta di pezzi musicali*).

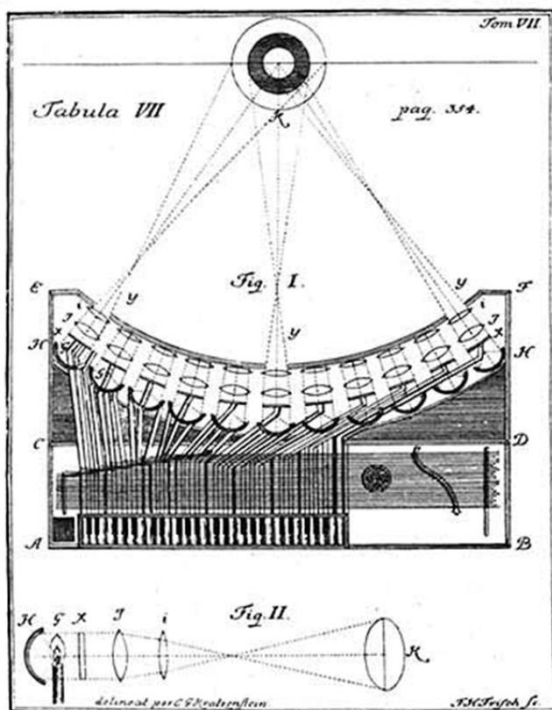


Fig.41
Riproduzione grafica del
Clavecin Oculaire (1743)



Fig.42
Una caricatura dell'organo oculare di Louis-
Bertrand Castel. Charles Germain de Saint Aubin,
1740-circa 1757.

Lo strumento funzionava nel seguente modo: attraverso la pressione di un tasto presente in un riquadro posto al di sopra del clavicordo, piccoli pannelli apparivano mostrando diversi colori preimpostati secondo la correlazione tra scala musicale e spettro cromatico da lui assegnata. In esperimenti successivi, fece uso di cristalli colorati aventi dimensioni differenti, purtroppo la tecnologia dell'epoca non permetteva di avere grandi sorgenti luminose, e l'uso della candela non era sufficiente a dare l'effetto desiderato. Al di là dei limitati risultati tecnici del tempo, Castel inizialmente fece corrispondere i colori dello spettro cromatico alle note della scala diatonica, partendo dal Violetto per il Do (come suggeriva Newton) e terminando la scala con il Porpora per il Do acuto.

Padre Castel, andò perfezionando il suo sistema, inserendo una gamma di dodici colori che corrispondevano ai semitoni compresi nell'ottava: Do-Blu, Do#-Celadon (verde pallido o terra verde di Verona), Re-Verde, Re#-Verde oliva, Mi-Giallo, Fa-Aurora, Fa#-Arancione, Sol-Rosso, Sol#-Cremisi, La-Violetto, La#-Agata (violetto bluastrò), Si-Blu viola (blu grigio) (fig.43).

Applicando simultaneamente una scala di valori di chiaroscuro, il sistema veniva esteso a più ottave, assicurando, in questo modo, il principio della ciclicità (ogni ottava aveva sempre gli stessi colori ma via via più chiari). I musicisti del tempo guardarono con grande interesse il lavoro svolto da Castel in particolar modo "*Telemann*", il quale ebbe la fortuna di venire in contatto con una versione dello strumento e tradusse in tedesco il *Mémoire* del gesuita.

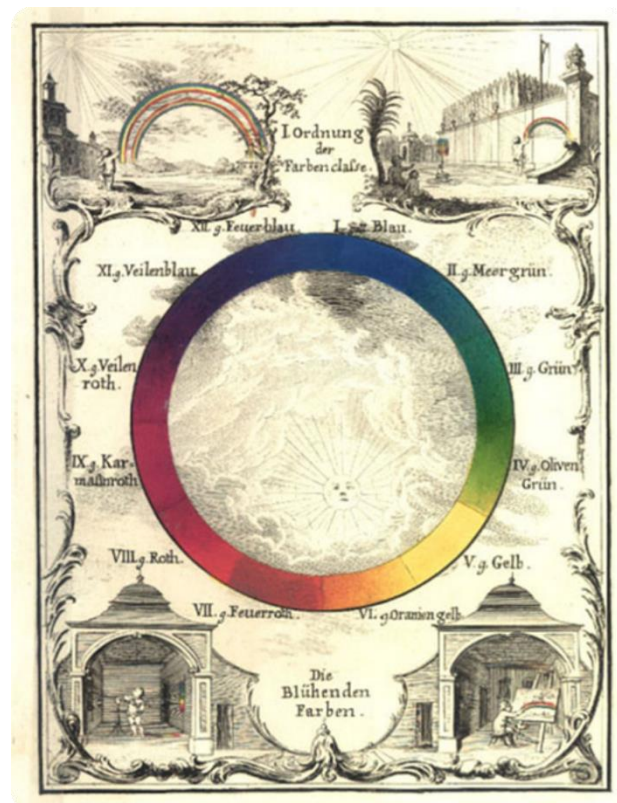


Fig.43

Attribuzione dei colori alle 12 note musicali secondo Padre Louis Bertrand Castel

4.3.3 George Field

George Field (1777 –1854) era un chimico inglese. Nacque intorno al 1777 a Berkhamsted, nell'Hertfordshire, dove studiò alla scuola di San Pietro. Vengono attribuiti a Field due testi sulla teoria dei colori. Il primo è intitolato: “Chromatics, or, an Essay on the Analogy and Harmony of Colours” (Cromatica, ovvero un saggio sull’analisi e l’armonia dei colori). Questo è un testo prevalentemente teorico, ricco di schemi e diagrammi colorati dove vengono definiti i colori primari, secondari e terziari e le possibili combinazioni. Nel libro viene suggerita anche una possibile correlazione tra scala cromatica e scala musicale. Purtroppo, non

è stato possibile recuperare il testo per comprendere le motivazioni che hanno portato Field verso l'attribuzione dei colori alle note mostrata in figura 44. Quello che comunque appare è che Field, non solo associò dei colori alle sette note della scala diatonica, ma modificò le gradazioni di tali colori in modo da riprodurre il colore per le altre ottave.

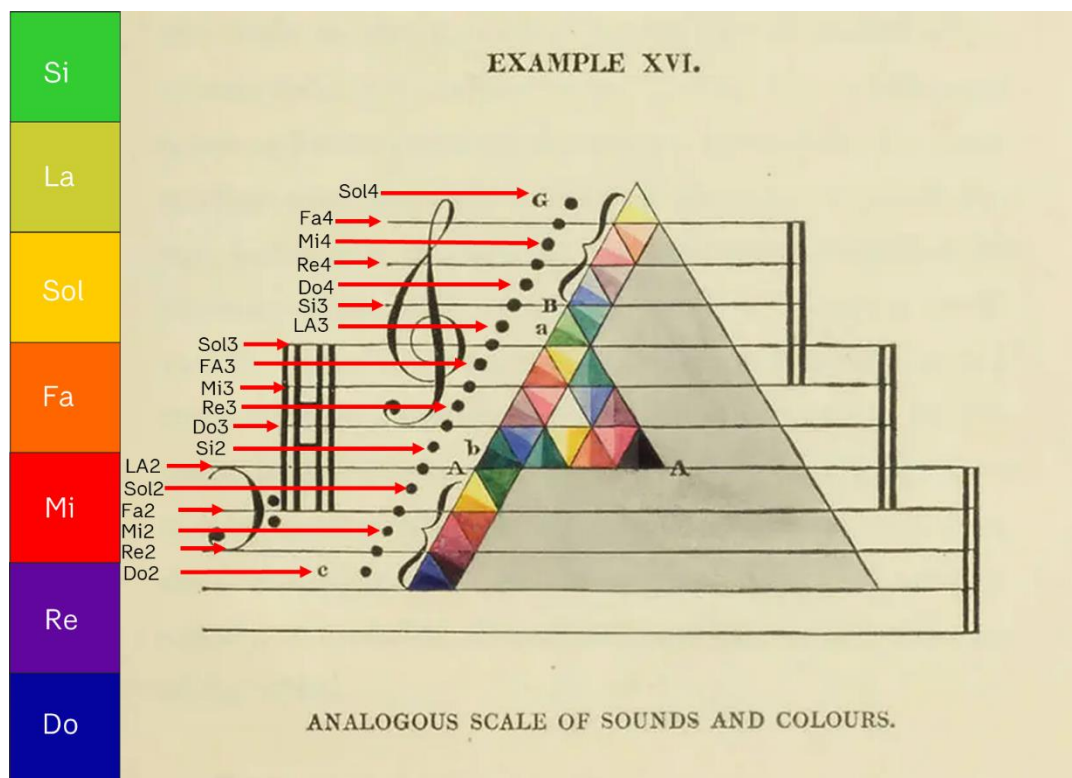


Fig.44
Attribuzione dei colori alle 7 note della scala diatonica secondo George Field con tabella associazione colore note.

L'immagine mostrata, però, non riproduce l'intera gamma di ottave presenti su un pianoforte. Accanto alla figura è stata inserita una tabella dove vengono riepilogate le note associate al tipo di colore da Field (le tinte sono puramente indicative, in quanto non si hanno informazioni sulle gradazioni utilizzate). Dall'immagine sembrerebbe che Field abbia associato la tinta piena partendo dal Do2 sino al Si2, le motivazioni però restano oscure. Field conosceva certamente i lavori di Newton e Maxwell come si vede

da una pagina estratta dal suo libro in figura 45, e ciò rende ancora più problematico comprendere l'associazione colori e note da lui suggerita.

L'altro testo intitolato: "*Chromatography*", di cui è rappresentata una pagina in figura 45, è un testo che parla dei pigmenti e del loro uso nella pittura; di natura assai più pratica, ne veniva suggerito l'uso ai pittori. Essendo lui produttore e venditore di pigmenti, questo testo risulta ricco di suggerimenti sul come usare ma anche sul come scegliere il corretto colore in funzione del contesto di utilizzo.

Field non viene considerato un grande esperto nella teoria dei colori, arrivò a respingere la teoria di Newton, in quanto non riuscì mai ad apprendere la differenza tra i colori dello spettro derivati dalla luce e quella derivante dai pigmenti. Il suo contributo nella ricerca della corrispondenza tra musica e colori arriva a noi attraverso la sua prima opera, di sicuro la sua conoscenza in merito ai pigmenti era elevata, ma non solo a livello chimico, anche a livello percettivo cromatico, tanto da essere ascoltato dai pittori per la realizzazione delle proprie tele in funzione degli abbinamenti tra i colori.

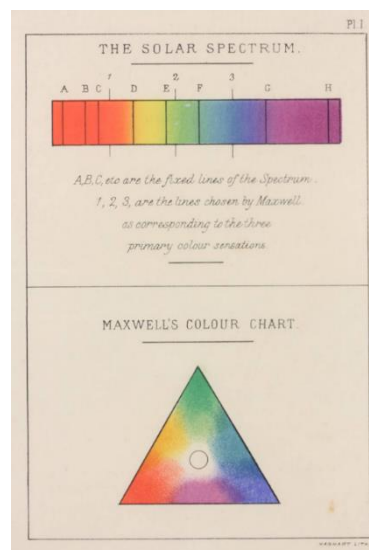


Fig. 45
Chromatography di George
Field

4.3.4 Da Bishop a Rimington

Durante il corso del Settecento e dell'Ottocento, furono numerosi gli strumenti adibiti allo scopo di mettere in relazione colori e musica. Tutti gli strumenti si basavano su quanto già fatto da Padre Castel, ma fu dall'avvento dell'elettricità che tale fenomeno ebbe un'accelerazione. I due strumenti più famosi del tempo sono il "Color Organ" brevettato nel 1877 da Bainbridge Bishop (fig.46 e fig.47) ed il "Clavier à lumières" di Wallace Rimington (fig. 48).

Purtroppo, siamo sprovvisti di testimonianze materiali inerenti ai lavori di Bainbridge Bishop, poiché a causa di incendi tutti e tre i suoi strumenti sono stati distrutti. Tuttavia, attraverso uno scritto dello stesso Bishop *"A Souvenir of the Color Organ, with Some Suggestions in Regard to the Soul of the Rainbow and the Harmony of Light"* (1893), ci viene fornita una loro descrizione dettagliata.

Di seguito la descrizione dell'autore: *"Ho costruito una serie di strumenti sperimentali, rimodellandoli e cambiandoli al fine di rendere più chiara l'idea e di ottenere l'effetto migliore. Il più soddisfacente che abbia costruito (fig.46 e 47) è formato da una lastra di vetro smerigliato semicircolare (1) del diametro di circa un metro e mezzo, incorniciato come un quadro, e disposto nella parte superiore dello strumento. Su di essa vengono mostrati i colori. Lo strumento è dotato di piccole finestre con differenti vetrini colorati (2) ed ogni finestra è dotata di un otturatore e costruita in modo che, premendo un tasto dell'organo, l'otturatore si apra e mostri il colore della sua luce. Questa luce, diffusa e riflessa su uno schermo bianco (4) dietro la lastra di vetro smerigliato ed in parte anche sul vetro stesso, produceva un colore sfumato sulla tinta neutra del vetro" ... "ho posizionato lo strumento davanti ad una finestra illuminata dal sole, ma si può usare anche una luce elettrica posta dietro (7). Ho avuto alcuni problemi nel decidere come posizionare l'intervallo dei colori da usare, ma alla fine ho deciso di impiegare il rosso per il Do e di dividere lo spettro cromatico in 11*

semitoni, aggiungendo il porpora per il Si, e un rosso più chiaro per il do all'ottava superiore, e di raddoppiare l'intensità ed il volume dei colori quando discendono di ottava. Le note più basse o della pedaliera e i relativi colori, sono riflessi uniformemente sull'intero vetro. L'effetto generale è quello di presentare agli occhi il movimento e l'armonia della musica, nonché i suoi sentimenti. Lo strumento può essere usato suonando suoni e colori, sia insieme che separatamente".²¹

La sequenza dei colori scelta Bishop ricorda molto quella di Newton, fatta eccezione per il porpora usato per il Si. Non ci sono informazioni aggiuntive in merito alla sequenza adottata da Bishop a causa degli incendi che hanno distrutto il suo lavoro.

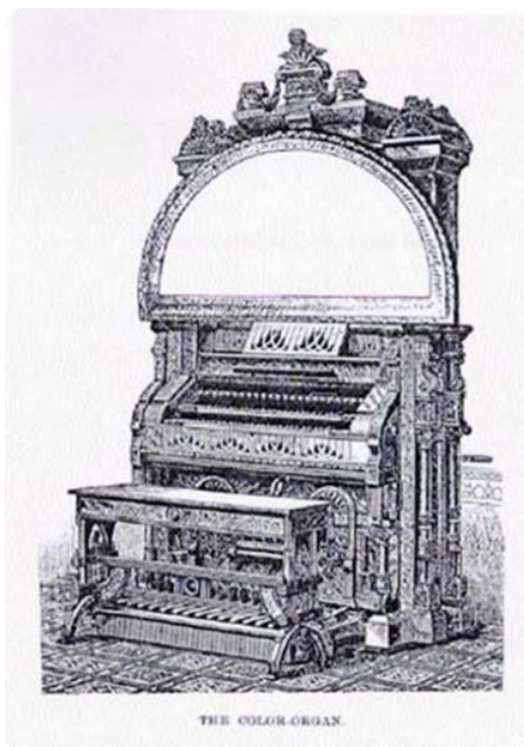
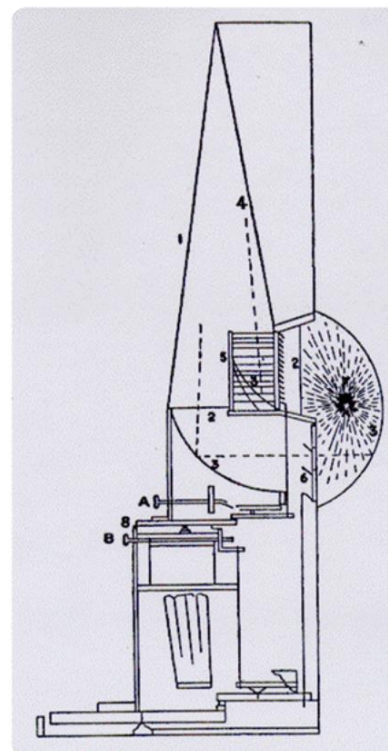


Fig. 46
"Color Organ" di Bainbridge
Bishop 1877



1. Ground glass tablet.
2. Ground glasses to diffuse light.
3. Reflectors.
4. White screen.
5. Upper sash.
6. Lower sash.
7. Electric light.
8. Keyboard.
- A. Color-stop for keyboard.
- B. Color-stop for pedals.

Fig. 47
Schema di funzionamento del
Color Organ" di Bainbridge
Bishop (1877)

²¹ <http://www.marcodebiasi.info/breve-storia-del-rapporto-suono-e-colore/>



Fig. 48

Esempio di partitura con l'utilizzo dei colori al posto delle note Bainbridge Bishop (1877)

Uno strumento molto simile a quello di Bishop fu costruito da Wallace Rimington, il quale ebbe la fortuna di potersi avvalere dell'energia elettrica che gli permise di avere una luce assai più intensa. Nonostante siano stati molti gli strumenti costruiti nel corso dell'Ottocento, tutti furono costruiti sulla falsa riga di quanto fatto da Padre Castel, l'unica differenza reale era l'ausilio delle nuove tecnologie presenti nelle diverse epoche che permettevano di ottenere strumenti sempre più performanti. Si potrebbe sostenere che al di fuori della forma, la sostanza non cambia.

Intorno al 1885 Rimington costruì questo organo che si dice fosse più alto di 3 metri. Sopra la tastiera vi erano posti dei tasti colorati, un sistema di filtri e lenti era collegato alla tastiera per la riproduzione dei colori tramite l'apertura di alcune finestrelle retro illuminate. Rimington chiese se fosse possibile scrivere doppie partiture in modo da averne una per la musica e una per il colore. Di nuovo in questo caso la scelta dei colori sembra partire da Newton, e rispetto a Bishop la sequenza sembra essere più conforme con quella dello scienziato inglese. Non siamo però a conoscenza del ragionamento che sta alla base della scelta di Rimington.



Fig. 49
Clavier à lumières" di Wallace Rimington
(1885)

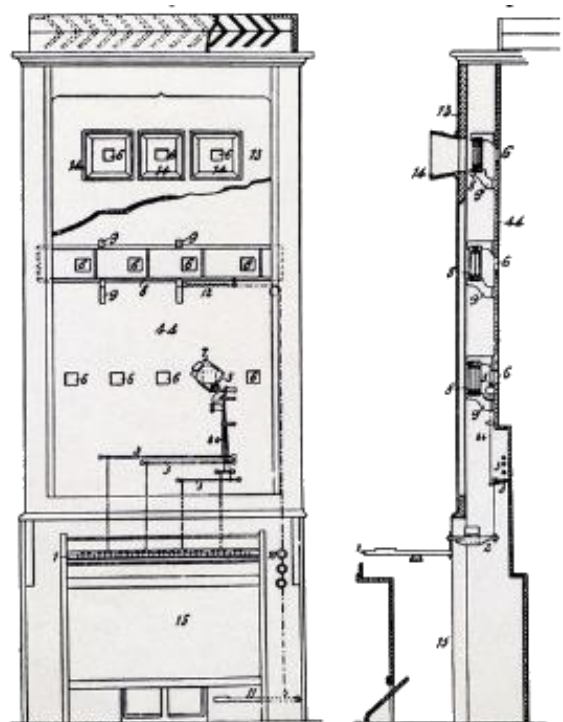


Fig. 50
Schema di funzionamento del Clavier à
lumières" di Wallace Rimington (1885)

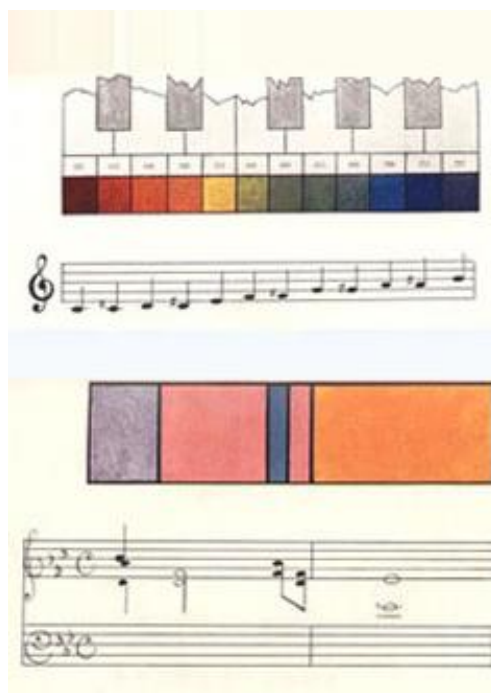


Fig. 51
Partitura per Clavier à
lumières" di Wallace Rimington (1885)

4.3.5 Hermann von Helmholtz

Hermann von Helmholtz è uno dei più grandi scienziati dell'800 (1821-1894). Intorno al 1849 Helmholtz inizia ad interessarsi alla teoria del colore in termini di fisiologia e percezione. Viste le poche certezze sull'argomento ai tempi, Helmholtz può essere considerato il pioniere per ciò che riguarda lo studio nei suoi termini fisici. Il primo articolo esposto da Helmholtz è inerente alla mescolanza dei colori, lo scienziato cerca di mettere ordine nella confusione sulle diverse concezioni presenti al suo tempo. In questo articolo sottolinea le differenze a livello fisiologico tra le due lunghezze d'onda (suono e colore), evidenziando la differenza tra il sistema visivo che agisce per "sintesi degli stimoli" e quello uditivo che funziona per "analisi degli stimoli". Il sistema visivo fonde più stimoli insieme, mentre quello uditivo riesce a discriminare tra un insieme di suoni un unico suono in maniera distinta.

Il processo di sintesi legato al sistema visivo è molto importante, in quanto ci fa capire la soggettività del fenomeno che non può basarsi su parametri oggettivi della fisica.

Helmholtz fa anche distinzione tra la mescolanza dei pigmenti e la composizione delle luci facendo notare la differenza tra i due fenomeni; quando i pigmenti vengono mescolati, il colore arriva alla retina già formato, per quanto riguarda le luci è nella retina che avviene tale sintesi. Perciò i pigmenti appartengono al dominio fisico, mentre le luci a quello fisiologico.

Lo scienziato mette in evidenza anche le differenze sperimentali riscontrate tra somma di pigmenti e somma di luci colorate; nel primo caso dalla mescolanza di due colori se ne ottiene un terzo ben distinto, nel caso delle luci si ottiene una luce acromatica; Helmholtz scrive: "la combinazione di giallo e blu [colori spettrali] non fornisce verde ma al massimo un debole bianco verdastro, contraddicendo nella maniera più decisa l'esperienza di tutti i pittori negli ultimi mille anni".²² Questo fenomeno è dovuto alle particelle

²² <http://www.boscarol.com/blog/?p=16590>

trasparenti che formano il colore, le quali funzionano da filtro per la luce che poi viene a sua volta riflessa. Ciò che i pigmenti mescolati non vanno ad assorbire viene riflesso sotto forma di colore percepito; perciò, si tratta di un fenomeno fisico oggettivo. Così facendo egli riuscì a separare le composizioni di luci colorate dalla mescolanza dei pigmenti, non cadendo nell'errore incorso a Newton e Goethe.

Helmholtz arrivò anche lui a formulare una teoria che potesse correlare note e colori, purtroppo non sono stati trovati testi al riguardo, l'unico dato pervenuto è la sequenza da lui proposta mostrata a pagina 54 (fig. 38); Helmholtz va considerato uno dei padri della scienza, per ciò che riguarda il suo studio sui colori. Il lavoro di Helmholtz ha coinvolto campi come la medicina, la biochimica, la matematica, la neurologia e la psicologia.

4.3.6 Alexander Skrjabin

Il pianista russo: Alexander Skrjabin fu l'inventore del "clavier à lumières", o semplicemente luce in italiano. Questo strumento musicale era stato inventato dal pianista per l'esecuzione della sua opera Prometeo o il Poema del fuoco nel 1910.

Si tratta di uno strumento formato da una tastiera in grado di proiettare un fascio di luce colorata, ad ogni nota o cambio d'armonia corrispondente. I colori sono stati scelti per evidenziare i vari stati d'animo evocati dalla musica e indicati da Skrjabin nella partitura secondo il sistema sinestetico.

Esistono ancora diversi dubbi sul fatto che il compositore fosse un sinesteta; è comunque evidente come le associazioni di colore siano state influenzate in prima battuta dalle letture teosofiche e dagli scritti di Louis Bertrand Castel (ideatore nel XVIII secolo del cosiddetto clavicembalo oculare).

La parte del clavier à lumières è indicata in partitura in chiave di sol su due righe di pentagramma: uno segue la scala cromatica (fig.52), l'altro il circolo delle quinte (fig.53).

Il compito dell'esecutore è quello di seguire la partitura proiettando i fasci di luce in funzione di quanto indicato nello schema (fig. 52 e fig. 53).

Note	Colori
DO	ROSSO
DO#	VIOLA
RE	GIALLO
RE#	GRIGIO/VIOLA
MI	BIANCO/ AZZURRO
FA	ROSSO SCURO
FA#	BLU
SOL	ROSA/ARANCIONE
SOL#	VIOLA/PORPORA
LA	VERDE
LA#	BAGLIORE METALLICO
SI	BLU PERLACEO

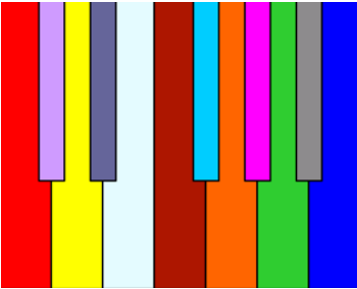


Fig. 52
Scala cromatica clavier à
lumières

Note	Colori	Sentimento
FA	ROSSO SCURO	DIFFERENZIAMENTO DI VOLONTA'
DO	ROSSO	VOLONTA'
SOL	ROSA/ARANCIONE	GIOCO CREATIVO
RE	GIALLO	GIOIA
LA	VERDE	PROBLEMA, CAOS
MI	BIANCO/ AZZURRO	SOGNO
SI	BLU PERLACEO	MEDITAZIONE
FA#	BLU	CREATIVITA'
DO#	VIOLA	VOLONTA' DELLO SPIRITO CREATORE
SOL#	VIOLA/PORPORA	MOVIMENTO DELLO SPIRITO IN UN PROBLEMA
RE#	GRIGIO/VIOLA	UMANITA'
LA#	BAGLIORE METALLICO	AVIDITA' O ENTUSIASMO

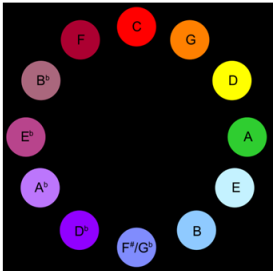


Fig. 53
Circolo delle quinte clavier à
lumières

4.3.7 Il rapporto suono-colore nella metodologia di Luigi Veronesi

Un'altra teoria riguardante la correlazione tra suono e colore arriva dall'incontro tra Luigi Rognoni e Luigi Veronesi. Luigi Veronesi è stato un pittore, fotografo, regista e scenografo italiano, nato a Milano il 28 maggio 1908. Luigi Rognoni è stato musicologo, critico musicale e regista teatrale italiano, nato a Milano il 27 agosto 1913. L'incontro tra i due avviene negli anni Trenta a Milano nella galleria Il Milione, luogo di incontro e centro nevralgico per la diffusione culturale in quegli anni. Entrambi stavano facendo ricerche sul suono e sul colore, Veronesi stava tentando di indagare scientificamente in merito alle relazioni tra "il linguaggio visivo e quello musicale", attraverso un metodo misurabile scientificamente.

In questo modo Veronesi, cerca di evitare qualsiasi interpretazione di livello soggettivo. Egli afferma che il rapporto di frequenze fra l'estremo viola e l'estremo rosso, nello spettro, è di 1/2 esattamente come nelle frequenze delle ottave musicali fra do e do.

Il lavoro di Veronesi inizia con la corretta correlazione colore lunghezza d'onda e frequenza (fig.54), poi posiziona il DO5 in corrispondenza della sua frequenza (523 Hz) (fig. 55) per poi salire fino al SI6 (987 Hz). Infine, inserisce i rapporti secondo la lunghezza d'onda (fig.56) in funzione del colore base violetto (3959 Å). Qui forse, a mio avviso influenzato dallo studio di Newton che attribuisce al DO5 il violetto, commette un errore, associando al DO5 la lunghezza d'onda errata di 3959 Å (il giallo è intorno ai 5730 Å).

	Å	bilioni di Hz
violetto	3950 - 4300	800 - 760
indaco	4400 - 4500	760 - 700
azzurro	4600 - 4800	700 - 650
verde	4900 - 5300	650 - 590
giallo	5500 - 5800	590 - 520
arancio	5900 - 6400	520 - 470
rosso	6500 - 7600	470 - 400

Fig. 54
Lunghezza d'onda e
frequenza colori

DO	RE	MI	FA	SOL	LA	SI	Hz
523	587	659	698	784	880	987	
10/10	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	rapporto fra ogni suono e il suono base: DO

Fig. 55
Lunghezza d'onda note
musicali.

3959	4482	4940	5264	5925	6580	7470	Å
10/10	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	rapporto fra ogni colore e il colore base: violetto

Fig. 56
Lunghezza d'onda colori

In seguito, Veronesi arrivò a modificare il suo lavoro perfezionandone il risultato, rapportò la scala diatonica formata da sette intervalli alla scala cromatica formata da dodici suoni, trovando così la lunghezza d'onda dei semitoni e il loro colore corrispondente (fig.57).

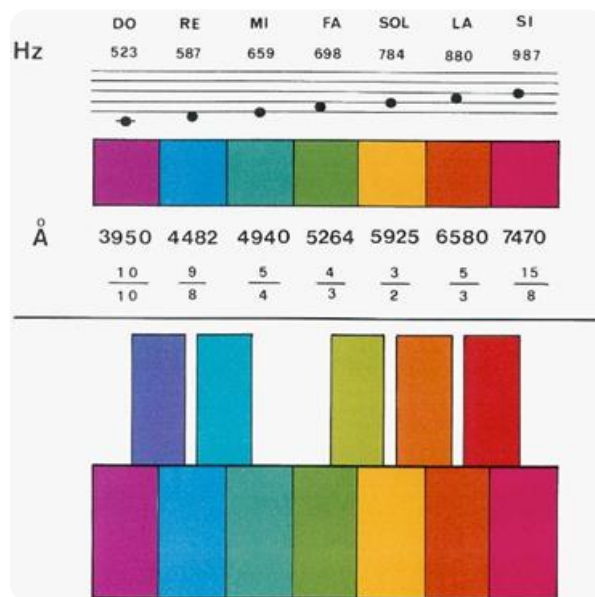


Fig. 57
Scala diatonica e scala
cromatica (Luigi Veronesi)

Veronesi non si limita alla correlazione di una sola ottava con i rispettivi colori, ma cerca di tradurre cromaticamente tutta l'estensione della tastiera del pianoforte, strumento di riferimento scelto per motivi di semplificazione.

Il pittore sceglie di fare uso delle caratteristiche del colore in termini di **Luminosità** e **Saturazione** per rappresentare i colori nelle altre ottave. Decise di associare le ottave crescenti ad una diminuzione del 50% di saturazione del colore, perché vedeva nell'alleggerimento del colore, l'assottigliarsi della nota più acuta e decise di ridurre la luminosità del 50% per ogni ottava decrescente, in modo da rispecchiare i suoni più gravi (Fig.58). La scelta del 50% non è casuale, ma legata al fatto che per ogni ottava, crescente o decrescente, la frequenza raddoppia o si dimezza.

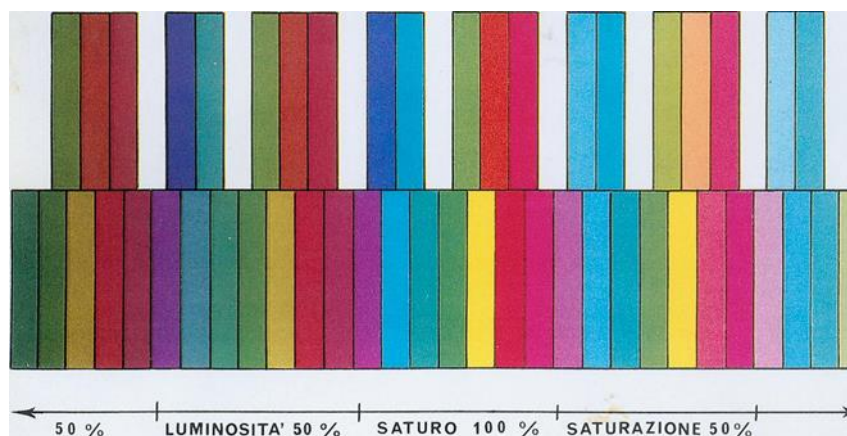


Fig. 58
Estensione dei colori a tutte le ottave del pianoforte.
(L. Veronesi)

Con l'ausilio di alcuni musicologi, Veronesi decise di rappresentare il suono attraverso una forma rettangolare, in quanto era ritenuta di facile lettura, mentre la durata, sarebbe stata data dalla grandezza dei rettangoli stessi.

A causa del fatto che l'occhio umano ha un limite fisiologico, che non gli permette di distinguere valori differenti nella stessa zona cromatica inferiori al millimetro, Veronesi scelse di utilizzare questo come misura per rappresentare la figura più breve della notazione musicale convenzionale, cioè la semibiscroma. La semibiscroma (fig.59) rappresenta la durata di un $1/64$ del valore dell'intero. Come base del tempo ordinario scelse una semiminima ($1/4$ del valore dell'intero) (fig.60) a 90 periodi al minuto.

Considerando che 1 mm corrisponde a un intervallo di tempo di $1/64$, un intervallo di tempo di $1/4$ ($16/64$) avrà valore 16mm. Pertanto, la base del rettangolo che andrà a definire la semiminima, sarà di 16 mm, in funzione del fatto che 1 minuto corrisponde a 90 periodi, ne consegue che: $1 \text{ minuto} = 16 \cdot 90 = 1440 \text{ mm di colore}$. La semibreve, della durata di $64/64$ (un intero), assunse dunque la forma di un rettangolo modulare con la base di 64 mm. L'altezza del rettangolo sembra fissata a 128 mm il doppio della base dell'intero, ma non si trovano spiegazioni del perché di questa scelta.

In figura 61 è riportato uno schema interpretativo delle durate di ogni singolo suono (semibreve, semiminima, etc..).



Fig. 59
Semibiscroma



Fig. 60
Semiminima

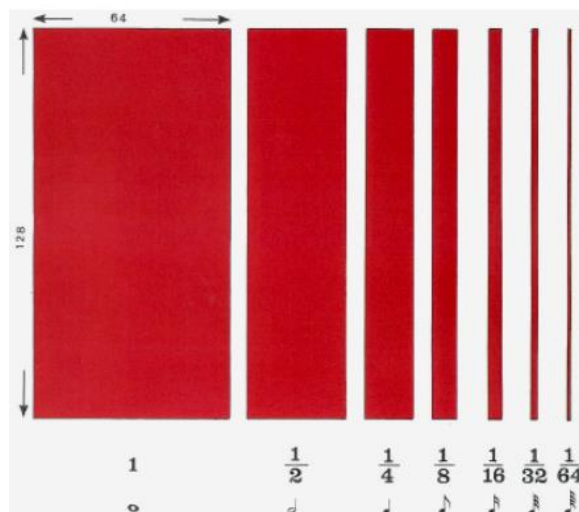


Fig. 61
Schema della interpretazione
delle durate.
(L. Veronesi)

Inoltre, Veronesi, ideò anche uno schema relativo alle dinamiche (piano, forte, etc.) (fig.62). In modo da visualizzare il complesso dei rapporti d'intensità sonora che si produce all'interno del discorso musicale.

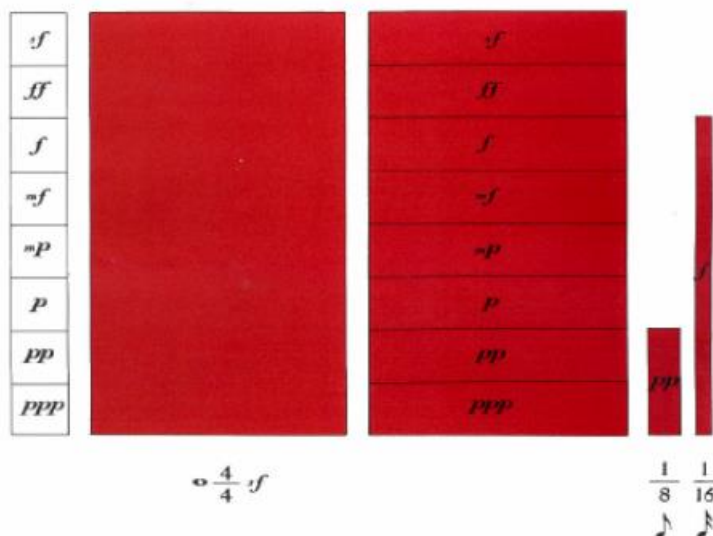


Fig.62
Schema interpretativo delle
dinamiche.
(L. Veronesi)

Infine, per indicare le pause e i silenzi, Luigi Veronesi scelse il grigio neutro o medio (al 50%) seguendo l'idea del fisiologo Ewald Hering, il quale sosteneva che il grigio «*corrispondesse ad una particolare condizione della porpora nella retina per cui il consumo della porpora nel percepire l'immagine e il suo ricostituirsi sono di pari valore, la sua quantità rimane invariata. Perciò il grigio neutro produce nell'occhio uno stato di equilibrio, una mancanza di eccitazione cromatica*».²³

²³ http://www.antoniodelamarina.com/www2/deeper/LuigiVeronesi_suonocolore.pdf



Fig. 63
Tre battute del contrappunto
N.1 di J.S. Bache la relativa
interpretazione cromatica di
(L. Veronesi)

Il lavoro di Veronesi durò 15 anni, i suoi risultati furono pubblicati nel 1977 in un opuscolo dal titolo: *“Proposta per una ricerca sui rapporti fra suono e colore”*, edito dalla Siemens. I suoi studi furono notevoli e fecero fare al concetto di associazione colori e musica un grande salto in avanti. Tutto ciò fu reso possibile anche dalle nuove tecnologie presenti, ma di sicuro il suo è lo studio più completo esistente finora.

5 Correlazione fisica tra note e colori

Come abbiamo visto nei capitoli precedenti, il suono è un'onda di materia che non può propagarsi nel vuoto, pertanto, necessita sempre di un mezzo elastico. Le sue oscillazioni avvengono sempre lungo la direzione di propagazione.

Al contrario, la luce essendo un'onda elettromagnetica non necessita di mezzi materiali per propagarsi e le oscillazioni dei campi elettrico e magnetico avvengono perpendicolarmente alla direzione di propagazione (fig.64).

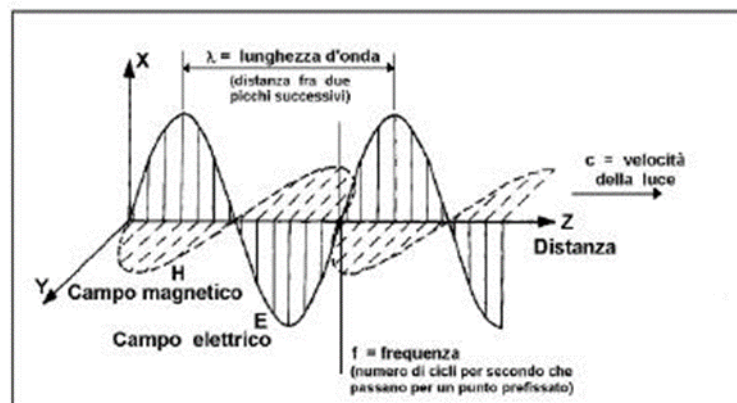


Fig. 64
Campo elettromagnetico

La luce si propaga nell'aria a una velocità di circa 300.000 Km/s, mentre il suono a circa 300 m/s.

Nel caso della luce, il nostro occhio è sensibile a frequenze comprese tra $4.5 \cdot 10^{14}$ Hz fino a circa $7.8 \cdot 10^{14}$ Hz corrispondenti a lunghezze d'onda comprese tra 375 e 750 nm.

Il colore è una qualità della sensazione visiva; esso non è una grandezza fisica e lo si può definire come la percezione visiva determinata dalle caratteristiche delle onde elettromagnetiche riflesse dai corpi.

Osservando lo spettro visivo si distinguono 7 colori: rosso, arancione, giallo, verde, blu, indaco e violetto (fig.65).

Da questo spettro è possibile ottenere uno spettro a 12 colori (fig.66).



Fig.65
Spettro visivo



Fig.66
Cerchio cromatico

Per quanto riguarda il suono, il nostro orecchio è sensibile a frequenze comprese tra 16 e 20000 Hertz che corrispondono a lunghezze d'onda comprese tra 1.5 cm e 15 m (300 Hz = 1 m).

La musica occidentale utilizza 88 toni (tasti del pianoforte) che comprendono lo spettro sonoro. La frequenza di riferimento per l'intonazione utilizzata dalle orchestre è il La₄ a 440 Hz che corrisponde al LA sopra il DO centrale. La scala totale, che comprende suoni più gravi e suoni più acuti, si estende da circa 16,5 Hz (tono più basso dell'organo percepibile solo in determinate condizioni) a 5275 Hz (nota più alta dell'ottavino).

Ogni salto di ottava sulla tastiera corrisponde al doppio della frequenza o alla sua metà (in base a se si sale o se si scende di ottava). Ogni ottava è composta da 12 semitoni.

Per ottenere la frequenza di ogni tono, basta calcolare la radice dodicesima di due che è circa 1.0595. Questo coefficiente va moltiplicato poi per la frequenza del tono precedente a quello che vogliamo calcolare. Per esempio, LA 440hz * 1.0595 = 466 hz che corrisponde al Sib che corrisponde alla nota successiva. In questo modo siamo in grado di calcolare qual è la nota più bassa sul pianoforte, che è rappresentata dal LA a 27,5 hz, mentre il tono più

alto risulta essere il DO 4186 hz. In figura 67 viene rappresentata l'intera gamma delle frequenze e delle lunghezze d'onda che possono emettere gli strumenti musicali, il pianoforte, che è lo strumento di riferimento, si estende dal La0 al D08. Da questo calcolo se ne deduce che l'orecchio umano ha una gamma uditiva all'incirca di 10 ottave, che è assai maggiore di quella percepibile attraverso la vista.

Scala cromatica	0° Ottava		Scala cromatica	1° Ottava		Scala cromatica	2° Ottava		Scala cromatica	3° Ottava		Scala cromatica	4° Ottava	
	frequenza	lunghezza d'onda		frequenza	lunghezza d'onda		frequenza	lunghezza d'onda		frequenza	lunghezza d'onda		frequenza	lunghezza d'onda
	Hz	m		Hz	m		Hz	m		Hz	m		Hz	m
DO 0	16,35	18332223	DO 1	32,71	9166111	DO 2	65,41	4583056	DO 3	130,83	2291528	DO 4	261,65	1145764
DO# 0	17,33	17302711	DO# 1	34,65	8651356	DO# 2	69,31	4325678	DO# 3	138,61	2162839	DO# 4	277,22	1081419
RE 0	18,36	16331016	RE 1	36,71	8165508	RE 2	73,43	4082754	RE 3	146,86	2041377	RE 4	293,72	1020688
RE# 0	19,45	15413889	RE# 1	38,90	7706945	RE# 2	77,80	3853472	RE# 3	155,60	1926736	RE# 4	311,19	963368
MI 0	20,61	14548267	MI 1	41,21	7274134	MI 2	82,43	3637067	MI 3	164,85	1818533	MI 4	329,71	909267
FA 0	21,83	13731258	FA 1	43,67	6865629	FA 2	87,33	3432814	FA 3	174,66	1716407	FA 4	349,33	858204
FA# 0	23,13	12960130	FA# 1	46,26	6480065	FA# 2	92,53	3240032	FA# 3	185,06	1620016	FA# 4	370,11	810008
SOL 0	24,51	12232308	SOL 1	49,02	6116154	SOL 2	98,03	3058077	SOL 3	196,07	1529038	SOL 4	392,13	764519
SOL# 0	25,97	11545359	SOL# 1	51,93	5772679	SOL# 2	103,87	2886340	SOL# 3	207,73	1443170	SOL# 4	415,46	721585
LA 0	27,50	10901544	LA 1	55,00	5450772	LA 2	110,00	2725386	LA 3	220,00	1362693	LA 4	440,00	681346
LA# 0	29,14	10289329	LA# 1	58,27	5144664	LA# 2	116,55	2572332	LA# 3	233,09	1286166	LA# 4	466,18	643083
SI 0	30,87	9711495	SI 1	61,74	4855747	SI 2	123,48	2427874	SI 3	246,96	1213937	SI 4	493,92	606968
Scala cromatica	5° Ottava		Scala cromatica	6° Ottava		Scala cromatica	7° Ottava		Scala cromatica	8° Ottava				
	frequenza	lunghezza d'onda		frequenza	lunghezza d'onda		frequenza	lunghezza d'onda		frequenza	lunghezz a d'onda			
	Hz	m		Hz	m		Hz	m		Hz	m			
DO 5	523,31	572882	DO 6	1046,61	286441	DO 7	2093,22	143220	DO 8	4186,45	71610			
DO# 5	554,44	540710	DO# 6	1108,89	270355	DO# 7	2217,77	135177	DO# 8	4435,54	67589			
RE 5	587,43	510344	RE 6	1174,86	255172	RE 7	2349,73	127586	RE 8	4699,45	63793			
RE# 5	622,38	481684	RE# 6	1244,77	240842	RE# 7	2489,54	120421	RE# 8	4979,07	60211			
MI 5	659,42	454633	MI 6	1318,83	227317	MI 7	2637,66	113658	MI 8	5275,33	56829			
FA 5	698,65	429102	FA 6	1397,30	214551	FA 7	2794,60	107275						
FA# 5	740,22	405004	FA# 6	1480,44	202502	FA# 7	2960,88	101251						
SOL 5	784,26	382260	SOL 6	1568,53	191130	SOL 7	3137,06	95565						
SOL# 5	830,93	360792	SOL# 6	1661,86	180396	SOL# 7	3323,71	90198						
LA 5	880,00	340673	LA 6	1760,00	170337	LA 7	3520,00	85168						
LA# 5	932,36	321542	LA# 6	1864,72	160771	LA# 7	3729,44	80385						
SI 5	987,84	303484	SI 6	1975,67	151742	SI 7	3951,34	75871						

Fig.67
Ottave musicali /spettro visibile
secondo enciclopedia britannica
(in grigio sono evidenziate le note
limite del pianoforte)

Come osservato nel capitolo precedente, Luigi Veronesi ha proposto un suo sistema per ovviare al problema della differenza tra percezione visiva e percezione auditiva.

Osservando la ricerca storica fatta in merito alle diverse teorie sull'associazione musica e colori, nessuna delle associazioni proposte rispetta la correlazione fisica misurata e indicata nell'enciclopedia britannica, che sembrerebbe quella più corretta da utilizzare, in quanto ottenuta da analisi sperimentali (fig.65), dove viene associato il colore alla nota musicale in funzione della frequenza (partendo dal limite dell'infrarosso la prima nota corrisponde al Sol4). In figura 68 viene riportata la sequenza delle note sullo spettro visibile.

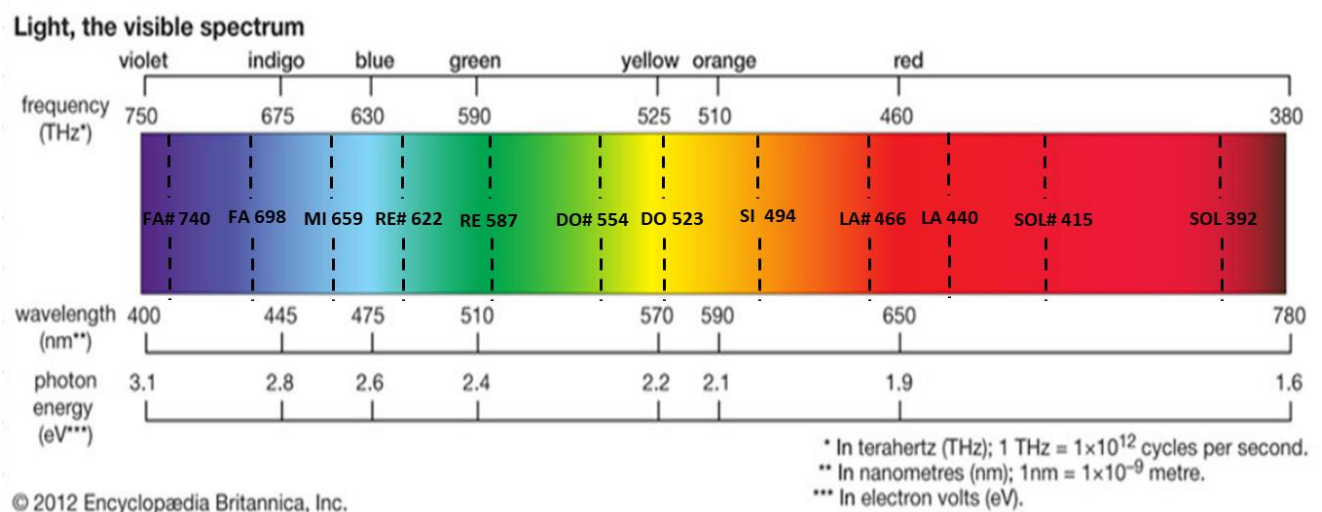


Fig.68
Suoni correlati allo spettro
visibile (Enciclopedia
Britannica)

Confrontando le associazioni fatte dal Veronesi, con quelle fisiche tra spettro visibile e suono (fig.70), sono evidenti delle differenze rispetto quanto evidenziato dagli studi fisici sulle onde. Nel sistema di Veronesi (fig. 69), il DO 3950 A (395 nm), equivale a 759Thz.

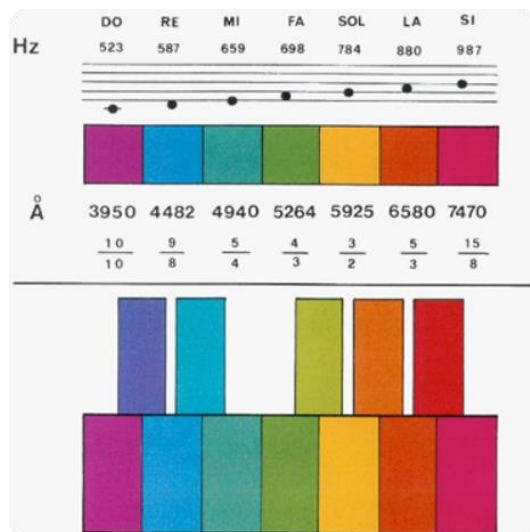


Fig.69
Associazione colori e musica secondo
Veronesi

Per facilitare il confronto mostrato in figura 69, si è ragionato su frequenze in Thz e lunghezze d'onda in nm. Come si vede dalla tabella, la trasformazione da frequenza a lunghezza d'onda operata da Veronesi sembra essere errata. Come osservato al paragrafo 2.2.6 (pag. 29) la lunghezza d'onda è uguale a $\lambda = v/f$, (v , è uguale a c) pertanto $\lambda = c/f$. Veronesi associa correttamente a 523Thz il DO (5), ma poi gli attribuisce una lunghezza d'onda di 395 nm (lunghezza più vicina ad un magenta). Partendo dalla frequenza del DO otteniamo la seguente lunghezza d'onda:

$$\lambda = 2997924587 \text{ [m/s]} / 523 \text{ [hz]} = 5732169 \text{ [m]}; \text{circa } 573 \text{ [nm]} \text{ (giallo)}$$

Partendo dalla lunghezza d'onda di 395 [nm] indicata da Veronesi per il DO otteniamo una frequenza di:

$$f = c / \lambda, 2997924587 \text{ [m/s]} / 3950000 \text{ [m]} = 7589682 \text{ [m]} \text{ circa } 759 \text{ [nm]} \text{ (magenta)}$$

Spettro	Note	Frequenza Veronesi (Thz)	Frequenza (sistema fisico internazionale) (Thz)	Lunghezza d'onda Veronesi (nm)	Lunghezza d'onda (sistema fisico internazionale) (nm)
Magenta	SOL (4)	/	392	/	764,777
Rosso	SOL# (4)	/	415	/	722,391
Rosso/arancio	LA (5)	/	440	/	681,346
Arancio	LA# (5)	/	466	/	643,331
Giallo/arancio	SI (5)	/	494	/	606,867
Giallo	DO (5)	523	523	395	573,217
Giallo/verde	DO# (5)	/	554	/	541,142
Verde	RE (5)	587	587	448,2	510,720
Verde/blu	RE# (5)	/	622	/	481,981
Blu	MI (5)	659	659	494	454,920
Blu/violetto	FA (5)	698	698	526,4	429,502
Violetto	FA# (5)	/	740	/	405,125
Non visibile	SOL (5)	784	784	592,5	382,388
Non visibile	SOL# (5)	/	831	/	360,761
Non visibile	LA (6)	880	880	658	340,673
Non visibile	LA# (6)	/	932	/	321,666
Non visibile	SI (6)	987	987	747	303,741

Fig.70
Confronto tra correlazione fisica
colore/suono e correlazione di Veronesi

6 La scala fonocromatica

Alla luce dell'analisi effettuata e dai confronti tra le diverse teorie proposte, si è giunti a definire una nuova scala fonocromatica (fig. 71), basata sui dodici colori del cerchio cromatico e sulla scala cromatica, che parte dal Sol (4) fino al Fa# (5).

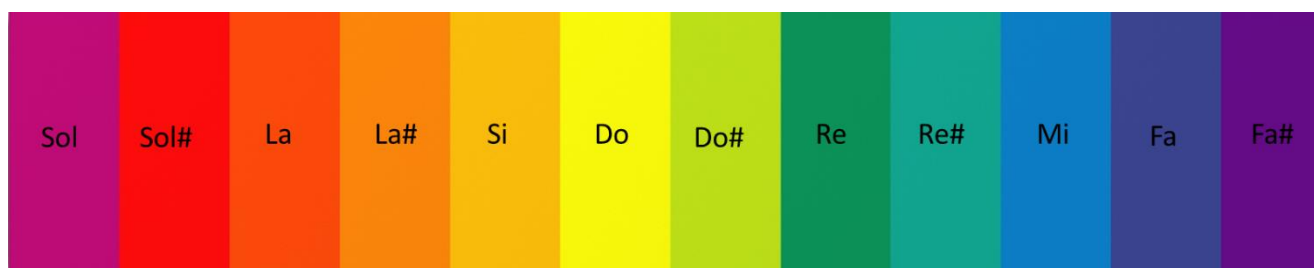


Fig.71
Scala Fonocromatica

In figura 72, viene rappresentata una tavola con i valori RGB per ogni singolo colore. La scelta delle gradazioni è stata fatta cercando di avvicinarsi quanto più possibile ai colori dello spettro visibile. In figura 73 vengono rappresentati il cerchio dei colori, il cerchio della scala cromatica e la loro sovrapposizione.

Colore	Nome	Codice RGB	Codice esadecimale
	Rosso	254,0,0	#FE0000
	Azzurro-Verde (verde turchese)	16,180,159	#720098
	Arancio	255,144,0	#FF9000
	Azzurro-Violetto (indaco o blu scuro)	67,78,160	#434EA0
	Giallo	255,255,0	#FFFF00
	Rosso-Violetto (magenta o porpora)	197,0,126	#C5007E
	Verde	0,160,100	#00A064
	Rosso-Arancio	255,80,0	#FF5000
	Azzurro	0,141,213	#008DD5
	Giallo-Arancio (ocra gialla)	255,199,0	#FFC700
	Violetto	114,0,152	#720098
	Giallo-Verde (lime)	200,233,24	#00B473

Fig.72
Valori RGB dei colori dello spettro

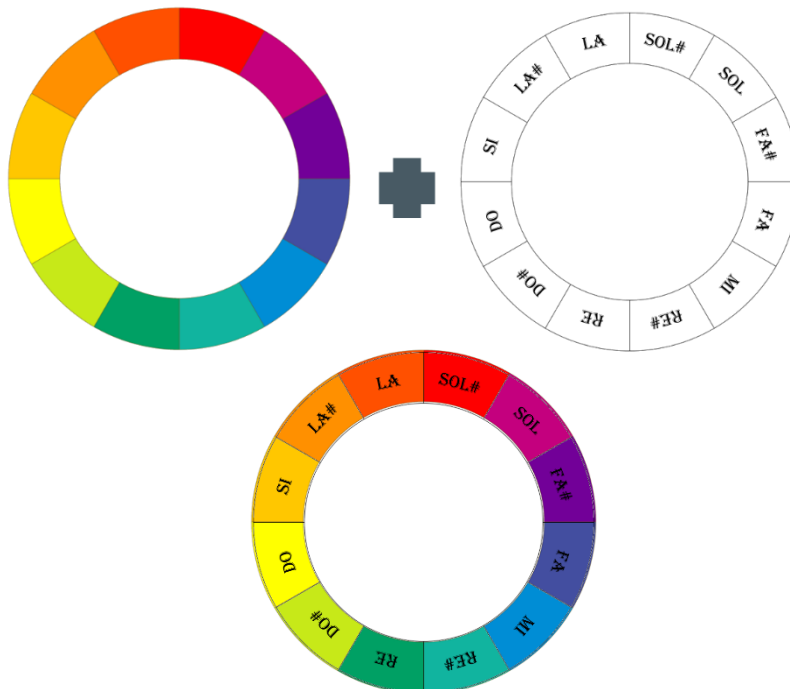


Fig.73
Valori RGB dei colori dello spettro

7 Il colore delle altre ottave

Arrivati a definire il colore corretto da attribuire alle note, va affrontato il problema dei salti di ottava, in quanto il suono, a differenza del colore, come già osservato nei capitoli precedenti, non ricopre lo stesso range del campo uditivo. Come si può vedere dall'immagine 74, alcuni strumenti come il basso e la grancassa, hanno un range di frequenze completamente fuori dal campo visivo; pertanto, si rende necessaria una regola che permetta di avere un colore alle ottave inferiori e superiori. Nell'immagine 75, sono rappresentate tutte le frequenze in corrispondenza di strumenti e voci.

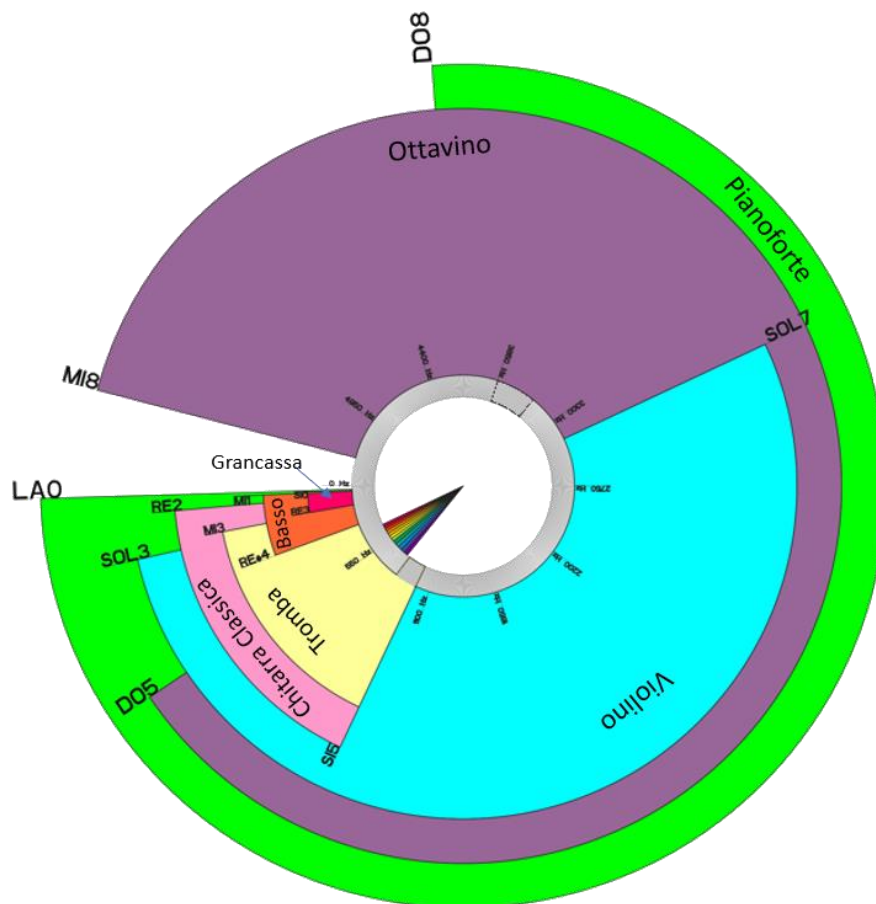


Fig.74
Spettro visibile vs range frequenze strumenti
musicali

Il lavoro di Veronesi è basato sulla rappresentazione del colore vista attraverso una forma geometrica determinata “il rettangolo” che cambia i suoi attributi in termini di: tinta, larghezza e altezza, in modo da riprodurre: suono, durata e dinamiche. Pertanto, vincola all'utilizzo di uno strumento che possa riprodurre tali sequenze geometriche. Questo vale per tutti gli strumenti finora osservati.

Questo sistema è molto pratico è ben strutturato, ma se volessi però riprodurre la musica a livello cromatico in un ambiente domestico senza dover stare fermo per osservarla?

La musica può essere ascoltata mentre si fanno altre attività, perché il suono inonda l'ambiente circostante, pertanto, il colore come la musica deve poter fare anch'esso la stessa cosa.

Questa tematica è da tenere in considerazione per gli sviluppi di un nuovo strumento di visualizzazione dei colori.

Tornando alla modalità scelta da Veronesi per risolvere il problema delle ottave, mi sono posto alcune domande:

1. La saturazione e la luminosità sono i parametri corretti da utilizzare?
2. Ha senso applicare alle percentuali di variazione del grado di luminosità e saturazione la stessa proporzione matematica presente nelle ottave se poi la correttezza sul risultato ottenuto non è dimostrabile empiricamente?

Proviamo a fare alcune ipotesi sul come modificare il colore in funzione delle ottave partendo da quanto fatto da Veronesi.

Avvalendoci sempre di due parametri del colore per identificare la variazione e considerando che: “la saturazione del colore è una misura della vivacità di un colore”²⁴, potremmo usare questo come primo parametro, facendolo variare del 50% per ogni ottava sia al crescere che al decrescere delle ottave. Più ci si allontana dalla nota centrale, più il colore diminuisce di saturazione in entrambe le direzioni. Nel grafico in figura 76 possiamo osservare

²⁴ <https://comeaprire.com/definizioni/esplorare-la-saturazione-del-colore/>

l'andamento della percentuale di saturazione per ogni salto di ottava.

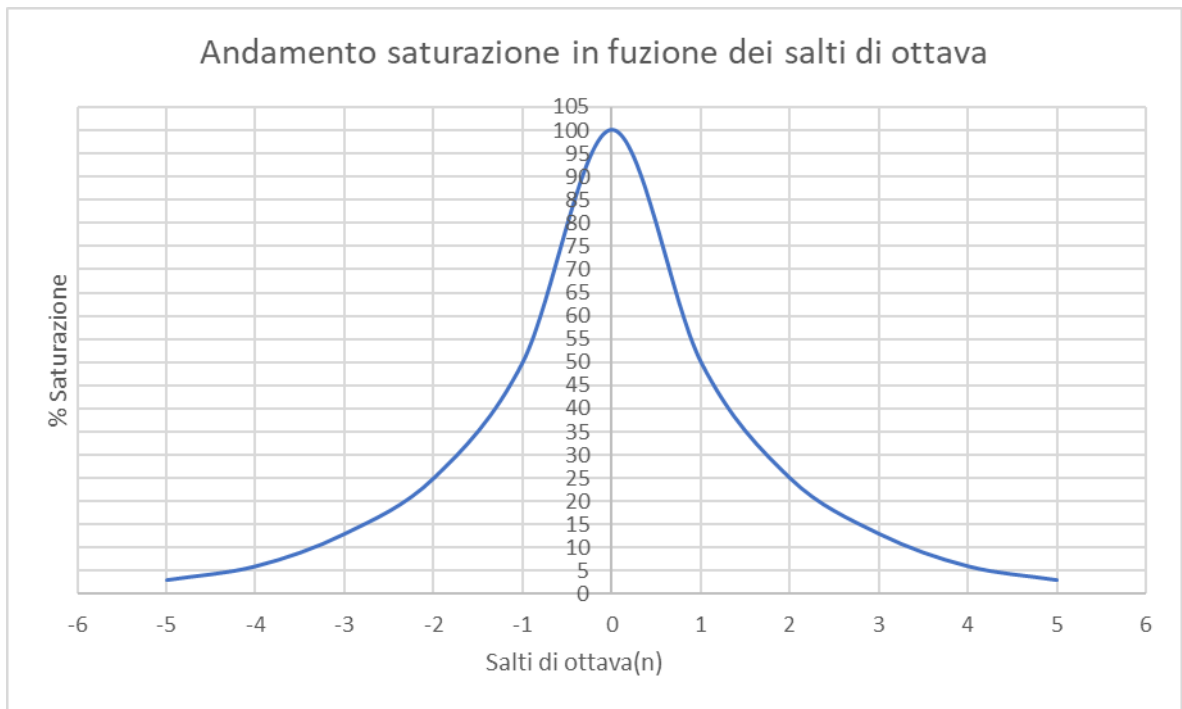
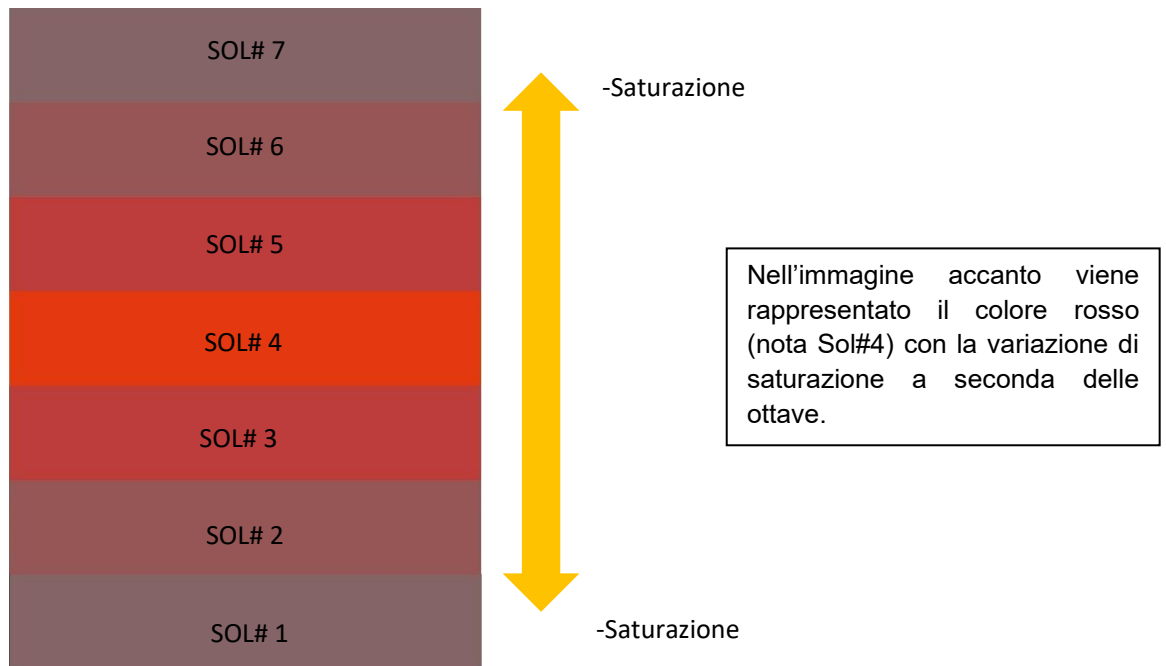


Fig.76
Variazione Saturazione al variare dei salti di
ottava

Naturalmente questo parametro da solo non è sufficiente, in quanto si darebbe gli stessi colori sia al crescere che al decrescere delle ottave. Potremmo modificare il valore della chiarezza facendolo crescere all'aumentare delle ottave e decrescere al diminuire. Sempre utilizzando il 50% ad ogni ottava, la chiarezza ci dirà se sale o scende di ottava. Praticamente avrò due qualità del colore per definire un'asse.

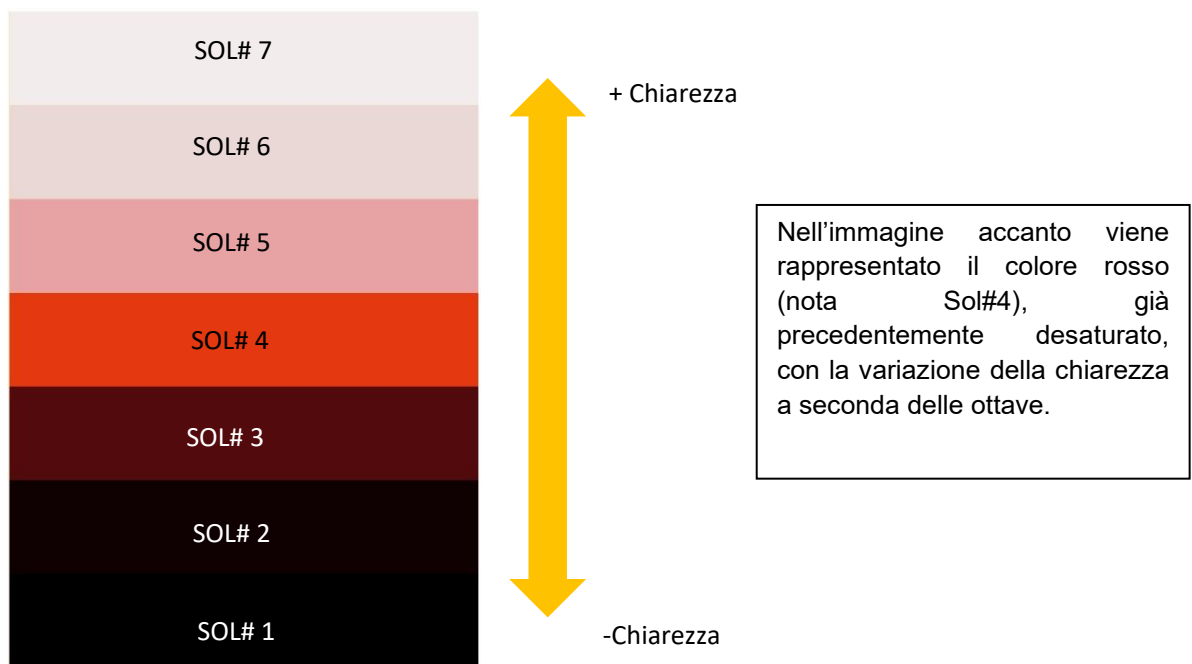
La percentuale di chiarezza e di saturazione sarà data dal rapporto già proposto da Veronesi, cioè ad ogni ottava varia la saturazione e la chiarezza del 50%. In questo caso andremo a variare la saturazione in entrambi i sensi crescenti e decrescenti delle ottave e sarà la chiarezza del colore a definire se stiamo salendo o scendendo rispetto all'ottava di riferimento.

Iniziamo ad analizzare questa prima ipotesi che prevede l'utilizzo di due parametri: chiarezza e saturazione. Nell'immagine viene rappresentato il colore rosso appartenente alla nota Sol# 4. Primo step: variazione saturazione al crescere e al decrescere delle ottave.



Come si vede il colore inizia ad apparire meno intenso e più smorto al variare della saturazione oltre che poco identificabile come variante del colore originale.

Il secondo passaggio è quello di intervenire sul parametro della chiarezza, per differenziare il colore dell'ottava crescente o decrescente. Si andrà ad aumentare e ridurre la chiarezza del 50% per ogni ottava.

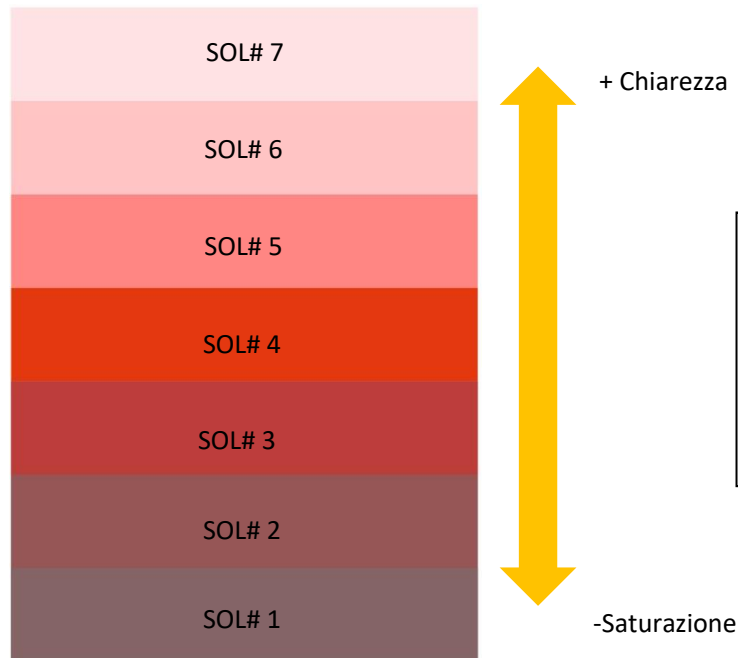


Come si vede dal risultato il colore rosso ha subito una trasformazione che lo rende irriconoscibile. La somma di due parametri che intervengono sullo stesso colore è una strada non percorribile a livello visivo.

Una seconda ipotesi potrebbe essere quella di usare sempre due parametri, ma seguendo la logica proposta da Veronesi, il quale desatura il colore nelle ottave crescenti e ne riduce la luminosità in quelle decrescenti.

A mio modo di vedere un colore che cresce di frequenza, e quindi diventa più acuto, dovrebbe essere più chiaro (tendente al bianco mantenendo una parvenza del colore di partenza), mentre uno con frequenza decrescente dovrebbe essere più scuro o meno saturo. Rimaniamo sul metodo che si avvale dell'utilizzo dei due parametri, usando una chiarezza più alta per le ottave crescenti e la saturazione più bassa per le ottave decrescenti.

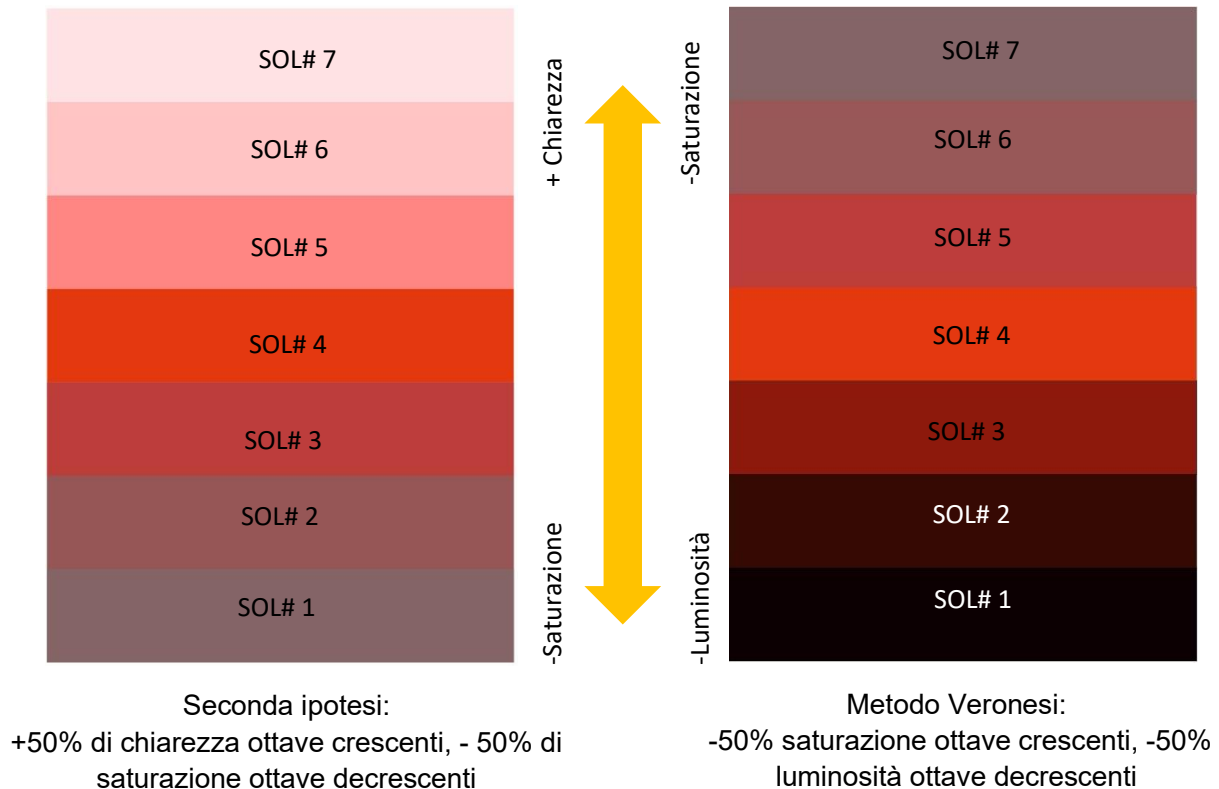
Analizziamo il risultato:



Nell'immagine accanto viene rappresentato il colore rosso (nota Sol#4), che varia di chiarezza nelle ottave crescenti e di saturazione nelle ottave decrescenti.

Come si vede dal risultato, l'utilizzo di due parametri, uno per le ottave crescenti ed uno per quelle decrescenti, dà un effetto cromatico migliore.

Proviamo ora a mettere a confronto questa seconda ipotesi con il metodo scelto da Veronesi:



L'ipotesi di Veronesi porta ad avere colori tendenzialmente più scuri sia nelle ottave alte che in quelle basse, mentre la seconda ipotesi tende ad avere colori più chiari.

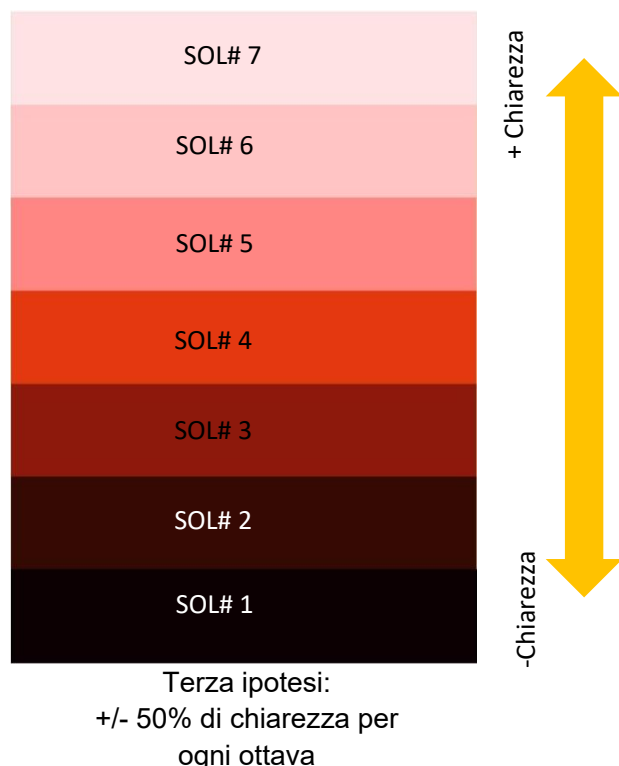
Entrambe le scale non offrono però un senso di continuità.

A questo punto potrebbero sorgere alcune domande:

1. È corretto utilizzare due parametri per indicare la variazione delle ottave?
2. La saturazione è davvero il parametro corretto da utilizzare?

In funzione di quanto emerso dalle diverse ipotesi, sembrerebbe che l'attributo della chiarezza sia quello capace di dare un equilibrio cromatico a livello percettivo migliore.

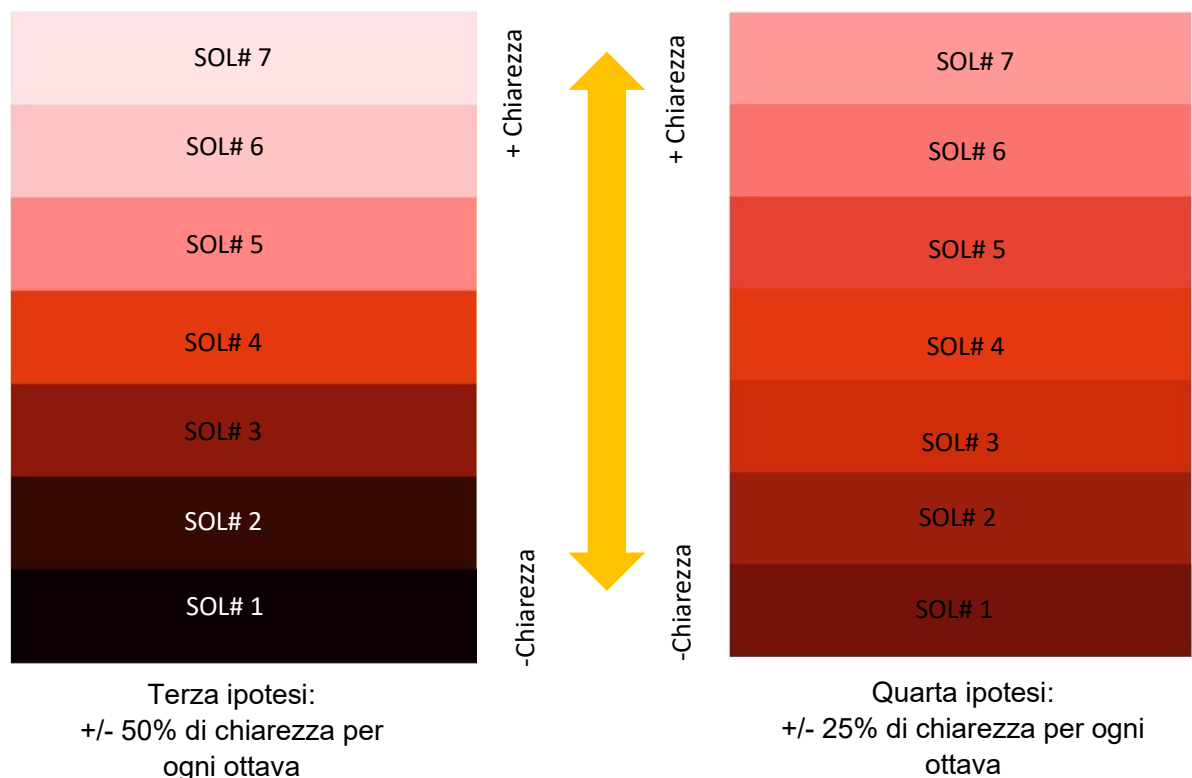
Proviamo ora ad utilizzare il solo parametro della chiarezza crescendo e scendendo del 50% di tale valore, al variare delle ottave.



Verso le due estremità le tonalità appaiono eccessivamente scure nelle ottave inferiori e più chiare nelle note più alte. Questo risultato è frutto della scelta di attribuire una variazione del 50% di saturazione e chiarezza/luminosità alle ottave. Ma, come già scritto precedentemente, essendo indimostrabile tale logica, in quanto le lunghezze d'onda al di sopra e al di sotto di certi valori non rientrano nel campo visivo e pertanto le attribuzioni fatte non possono essere osservabili, è proprio necessario mantenere il rapporto matematico che definisce le ottave musicali? Non sarebbe meglio avere variazioni più contenute della percentuale di chiarezza in modo da discostarsi meno dal rosso? Inoltre, va ricordato quanto visto in figura 74 e 75 in merito alle frequenze degli strumenti e delle voci, la gamma di frequenze totale è molto ampia, pertanto, si rischierebbe di avere colori troppo scuri o troppo chiari verso gli estremi del range.

Vale la pena fare una quarta ipotesi dove in maniera del tutto arbitraria, partendo dal metodo indicato nell'ipotesi 3, che

prevedeva un solo parametro del colore con variazione di +/- 50% al variare delle ottave, decidiamo che ad ogni ottava il colore perda o acquisti chiarezza del 25%. Vediamo il confronto tra l'ipotesi 3 e l'ipotesi 4:



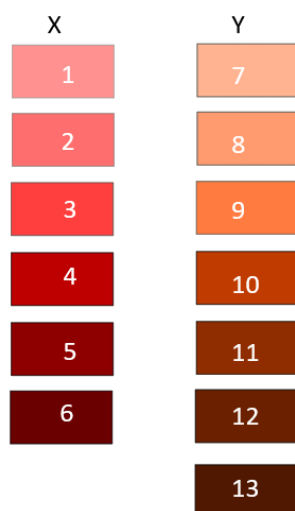
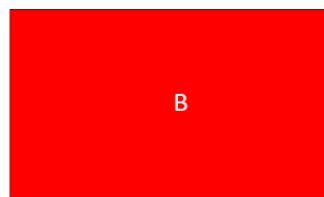
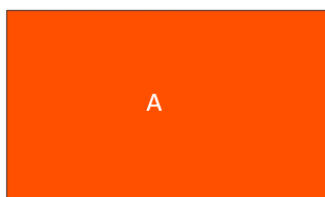
A livello visivo l'ipotesi quattro si presenta più continua e migliore a livello percettivo. La quarta ipotesi perde il suo valore di correlazione matematica al variare delle ottave come accade con le note, ma ci permette di avere sempre un colore più riconducibile al rosso; come la nota SOL# 4 è riconoscibile come SOL# anche se suonata su ottave differenti, così deve esserselo il colore ad essa associato.

Questa ipotesi si propone di utilizzare un sistema di tipo visivo per attribuire un valore percentuale di variazione del colore a seconda dell'ottava, utilizzando un solo parametro (la chiarezza del colore). Il valore indicato, 25%, è stato scelto solo per avere una scala graduata del colore, al variare delle ottave, più contenuto, in modo da non allontanarsi troppo dal colore rosso. Come già scritto non

esiste nessun colore percepibile al livello visivo oltre le frequenze di 392 e 740 Hz; pertanto, ogni attribuzione di colore data per frequenze al di fuori di questo range, non può essere dimostrabile fisicamente. Alla luce di ciò credo che sia più logico trovare la giusta percentuale di chiarezza da aggiungere o togliere alla tinta pura, utilizzando un'attribuzione basata su una scelta visiva. La mia quarta ipotesi prevede l'utilizzo di un valore del 25% al variare di ogni ottava.

Per valutare meglio la variazione di chiarezza del 25% attribuita ad ogni ottava, si è pensato di fare un test visivo accostando coppie di colori confinanti e pertanto più simili, modificandone la percentuale di chiarezza. Infine, si è chiesto a 10 persone quale, tra i diversi campioni di colori esposti, fosse derivato da uno dei due colori A o B.

Test 1: colore Rosso/Rosso Arancio (ipotesi 4).



ROSSO/ ROSSO ARANCIO	A	B	N.V.
1	1	9	
2		10	
3		10	
4		10	
5		10	
6			10
7	10		
8	10		
9	10		
10	8	2	
11	4	1	5
12			10
13			10

A= ROSSO ARANCIO

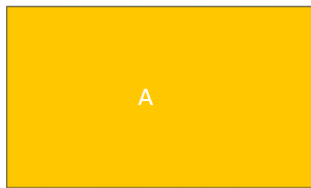
B= ROSSO

X=VARIAZIONE CHIAREZZA DI B

Y=VARIAZIONE CHIAREZZA DI A

In questo primo test è emerso che il 100% delle persone non ha saputo valutare i campioni 6,12 e 13, il 50% il campione 11. Circa il 96% delle persone testate ha dato l'attribuzione corretta.

Test 2: colore Arancione/Giallo Arancio (ipotesi 4).



X	Y
1	8
2	9
3	10
4	11
5	12
6	13
7	14

ARANCIONE/ GIALLO ARANCIO	A	B	N.V.
1		10	
2		10	
3		10	
4		10	
5		10	
6		6	4
7		3	7
8	10		
9	10		
10	10		
11	10		
12	10		
13	6		4
14	3	1	6

A= GIALLO ARANCIO

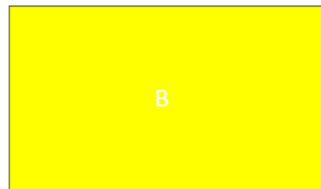
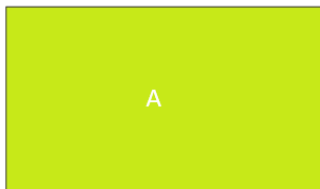
B=ARANCIO

X=VARIAZIONE CHIAREZZA DI B

Y=VARIAZIONE CHIAREZZA DI A

In questo secondo test è emerso che il 60% delle persone non ha saputo valutare il campione 14, il 40% il campione 13, il 70% il campione 7 e il 40% il campione 6. Il 10% ha associato il 14 alla lettera errata. Circa il 99% delle persone che ha scelto fra A e B ha dato l'attribuzione corretta.

Test 3: colore Giallo/Giallo Verde (ipotesi 4).



X	Y
1	8
2	9
3	10
4	11
5	12
6	13
7	

GIALLO/ GIALLO VERDE	A	B	N.V.
1		10	
2		10	
3		10	
4		10	
5	5	5	
6	4	6	
7	8	2	
8	10		
9	10		
10	10		
11	10		
12	10		
13	10		

A= VERDE GIALLO

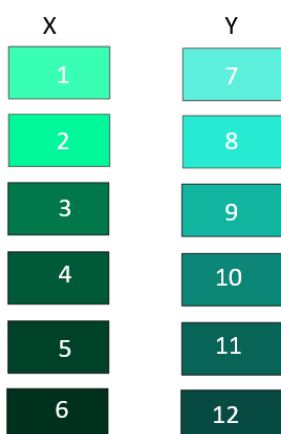
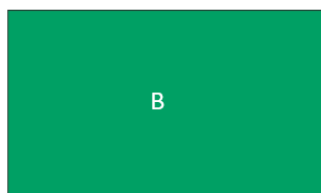
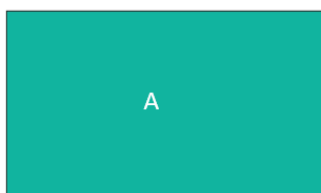
B=GIALLO

X=VARIAZIONE CHIAREZZA DI B

Y=VARIAZIONE CHIAREZZA DI A

In questo terzo test è emerso che il 10% ha associato il 14 alla lettera errata. Circa l'87% delle persone che ha scelto fra A e B ha dato l'attribuzione corretta.

Test 4: colore Verde/Azzurro Verde (ipotesi 4).



VERDE/ AZZURRO VERDE	A	B	N.V.
1		10	
2		10	
3		10	
4		10	
5		8	2
6			10
7	10		
8	10		
9	10		
10	10		
11	10		
12	6	2	2

A=AZZURRO VERDE

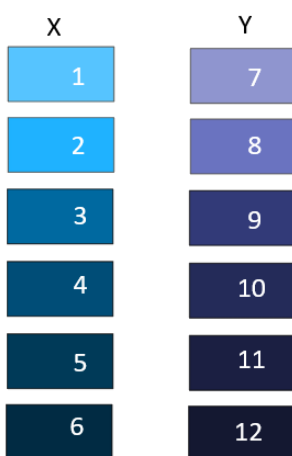
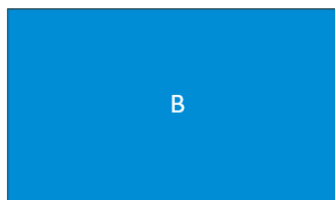
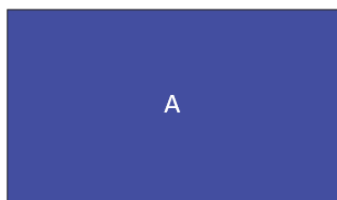
B=VERDE

X=VARIAZIONE CHIAREZZA DI B

Y=VARIAZIONE CHIAREZZA DI A

In questo quarto test è emerso che il 100% delle persone non ha saputo valutare il campione 6, il 20% i campioni 5 e 12. Il 20% ha associato il 12 alla lettera errata. Circa l'98% delle persone che ha scelto fra A e B ha dato l'attribuzione corretta.

Test 5: colore Azzurro/Indaco (ipotesi 4).



AZZURRO/ INDACO	A	B	N.V.
1		10	
2		10	
3		10	
4	2	8	
5	6	4	
6	2	3	5
7	10		
8	10		
9	10		
10	10		
11	10		
12			10

A= INDACO

B=AZZURRO

X=VARIAZIONE CHIAREZZA DI B

Y=VARIAZIONE CHIAREZZA DI A

In questo quinto test è emerso che il 100% delle persone non ha saputo valutare il campione 12, il 50% il campione 6. Il 20% ha associato il 4 e il 6 alla lettera errata, il 60% ha associato il 5 alla lettera sbagliata. Circa l'90% delle persone che ha scelto fra A e B ha dato l'attribuzione corretta.

Test 6: colore Violetto/Magenta (ipotesi 4).



In questo sesto test è emerso che il 100% delle persone ha risposto correttamente.

Nonostante i dati ottenuti mostrano una più alta percentuale di corretta associazione tra il colore puro e la sua variazione percentuale di chiarezza, è emerso che un buon numero di persone non ha saputo associare i colori dei campioni verso le tonalità più scure, per via del fatto che i colori, scurendosi, sono difficili da identificare. Ciò non avviene per i colori con valori di chiarezza maggiori. Per tale ragione si è deciso di rivedere l'attribuzione del $\pm 25\%$ ad ogni cambio di ottava.

L'ipotesi più immediata, è quella di non cambiare il rapporto del 25% per le ottave più alte, ma di intervenire riducendo la percentuale sulle ottave più basse, creando un andamento non simmetrico tra le due direzioni.

In figura 77, possiamo vedere il grafico dove viene rappresentata matematicamente l'ipotesi 4 appena trattata. In figura 78 viene mostrato il grafico dell'ipotesi 5. Si è deciso di variare la percentuale di chiarezza con percentuali differenti per ogni ottava. Nel primo

salto il valore scenderà del 10%, nel secondo salto del 15%, nel terzo del 20%, nel quarto del 25% e nel quinto del 30%. In tale modo si andrà a ridurre la pendenza della curva che rappresenta il valore assoluto in percentuale in rapporto all'ottava di riferimento (0 sull'asse delle x) verso sinistra.

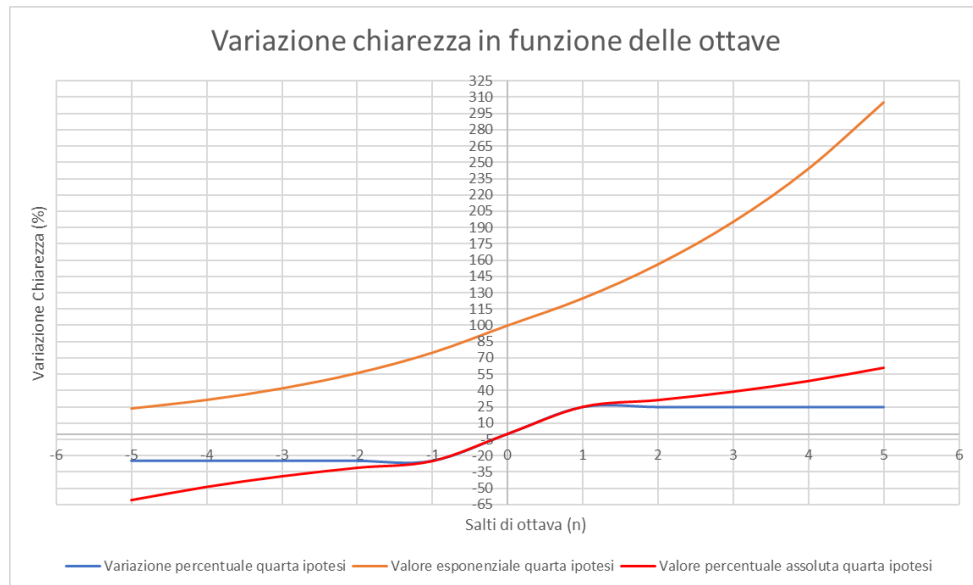


Fig.77

Curve variazione chiarezza in funzione dei salti di ottava (quarta ipotesi)

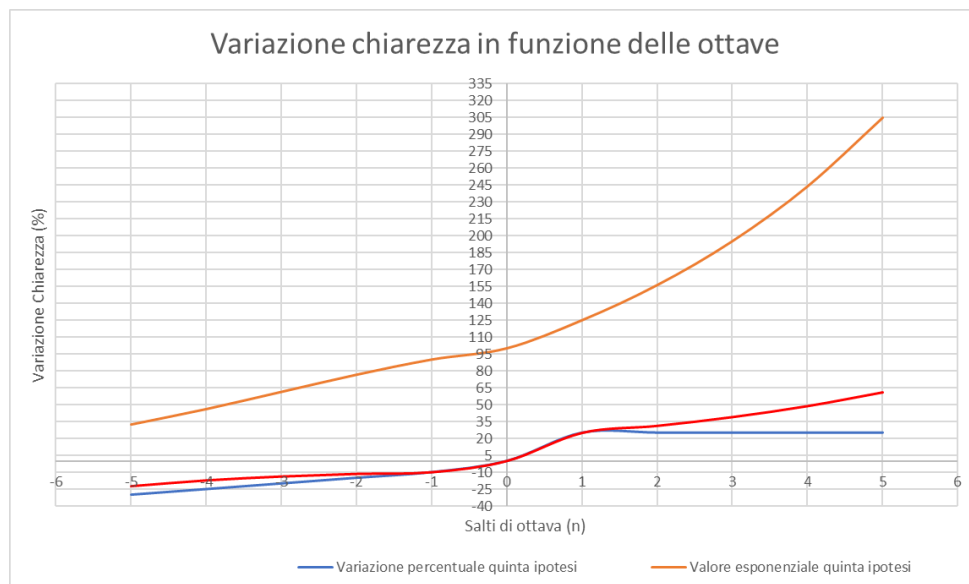


Fig.78

Curve variazione chiarezza in funzione dei salti di ottava (quinta ipotesi)

Definito il nuovo tipo di approccio, abbiamo ripresentato il test ai nostri dieci campioni. Di seguito i risultati:

Test 1: colore Rosso/Rosso Arancio (ipotesi 5)

A

B

X

1

2

3

4

5

6

7

Y

8

9

10

11

12

13

14

ROSSO/ ROSSO ARANCIO	A	B	N.V.
1		10	
2		10	
3		10	
4		10	
5		10	
6		10	
7		10	
8	10		
9	10		
10	10		
11	10		
12	10		
13	10		
14	10		

A= ROSSO ARANCIO

B= ROSSO

X=VARIAZIONE CHIAREZZA DI B

Y=VARIAZIONE CHIAREZZA DI A

In questo primo test è emerso che il 100% delle persone ha risposto correttamente.

Test 2: colore Arancione/Giallo Arancio (ipotesi 5)

A

B

X

1

2

3

4

5

6

7

Y

8

9

10

11

12

13

14

ARANCIONE/ GIALLO ARANCIO	A	B	N.V.
1		10	
2		10	
3		10	
4		10	
5		10	
6		10	
7		10	
8	10		
9	10		
10	10		
11	10		
12	10		
13	10		
14	10		

A= GIALLO ARANCIO

B=ARANCIO

X=VARIAZIONE CHIAREZZA DI B

Y=VARIAZIONE CHIAREZZA DI A

In questo secondo test è emerso che il 100% delle persone ha risposto correttamente.

Test 3: colore Giallo/Giallo Verde (ipotesi 5)

A		B	
X	Y		
1	9		
2	10		
3	11		
4	12		
5	13		
6	14		
7	15		
8	16		

GIALLO/ GIALLO VERDE	A	B	N.V.
1		10	
2		10	
3		10	
4		10	
5		10	
6		10	
7	1	9	
8	3	7	
9	10		
10	10		
11	10		
12	10		
13	10		
14	10		
15	10		
16	10		

A= VERDE GIALLO
 B=GIALLO
 X=VARIAZIONE CHIAREZZA DI B
 Y=VARIAZIONE CHIAREZZA DI A

In questo terzo test è emerso che circa il 97% delle persone che ha scelto fra A e B ha dato l'attribuzione corretta.

Test 4: colore Verde/Azzurro Verde (ipotesi 5)

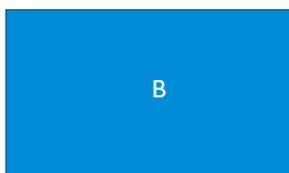
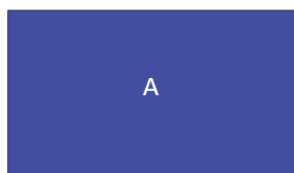
A		B	
X	Y		
1	9		
2	10		
3	11		
4	12		
5	13		
6	14		
7	15		
8	16		

VERDE/ AZZURRO VERDE	A	B	N.V.
1		10	
2		10	
3		10	
4		10	
5		10	
6		10	
7		10	
8		8	2
9	10		
10	10		
11	10		
12	10		
13	10		
14	10		
15	10		
16	5	1	4

A=AZZURRO VERDE
 B=VERDE
 X=VARIAZIONE CHIAREZZA DI B
 Y=VARIAZIONE CHIAREZZA DI A

In questo quarto test è emerso che il 20% delle persone non ha saputo valutare il campione 8 mentre il 40% non ha saputo valutare il campione 16. Circa il 99% delle persone che ha scelto fra A e B ha dato l'attribuzione corretta.

Test 5: colore Azzurro/Indaco (ipotesi 5)



AZZURRO/ INDACO	A	B	N.V.
1		10	
2		10	
3		10	
4		10	
5		10	
6		10	
7		10	
8	4	6	
9	10		
10	10		
11	10		
12	10		
13	10		
14	10		
15	10		

A= INDACO

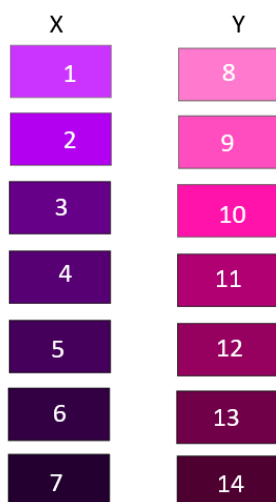
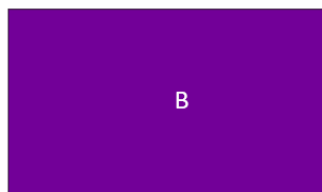
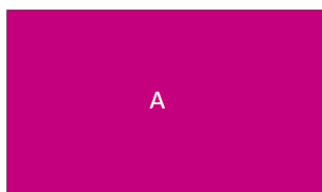
B=AZZURRO

X=VARIAZIONE CHIAREZZA DI B

Y=VARIAZIONE CHIAREZZA DI A

In questo quinto test è emerso che circa il 97% delle persone che ha scelto fra A e B ha dato l'attribuzione corretta.

Test 6: colore Violetto/Magenta (ipotesi 5)



VIOLETTO/ MAGENTA	A	B	N.V.
1		10	
2		10	
3		10	
4		10	
5		10	
6		10	
7		10	
8	10		
9	10		
10	10		
11	10		
12	10		
13	10		
14	10		

A= MAGENTA

B= VIOLETTO

X=VARIAZIONE CHIAREZZA DI B

Y=VARIAZIONE CHIAREZZA DI A

In questo sesto test è emerso che il 100% delle persone ha risposto correttamente.

Confrontando i dati raccolti dal test, possiamo considerare questa ultima ipotesi soddisfacente. Rimangono alcune perplessità riguardo gli accostamenti: “giallo/giallo verde”, “azzurro/indaco, verde/azzurro verde”. In questa fase teniamo valida questa quinta ipotesi, in futuro si potrebbe valutare una scala graduata differente per ogni colore, in modo da migliorarne la percezione, tale attività necessita di più studi e di un maggior numero di persone a cui proporre il test di tipo visivo.

Proviamo ora a vedere cosa succede utilizzando questo approccio per ognuna delle 88 note del pianoforte rappresentate nella tabella in fig. 67 al capitolo 5.

Per rappresentare la sequenza delle 88 note, sarebbe utile usare una forma a spirale, in modo da visualizzare sia l'andamento delle note che quello dei salti di ottava. In figura 79 viene rappresentato lo sviluppo della spirale, dove vengono rappresentate le 88 note del pianoforte, partendo dal La0 a 27,5 Hz fino al Do8 a 4186,5 Hz. Sull'asse delle X viene rappresentata la sequenza dei toni, sull'asse delle Y sono rappresentati i salti di ottava.

Dal Sol4 al Fa#5 sono rappresentati i dodici colori della scala fonocromatica ottenuti tramite le associazioni tra colore e note mostrati al capitolo 6 in figura 71.

Sempre sull'asse delle Y, viene alterato il livello di chiarezza del colore per rappresentare le ottave crescenti e decrescenti. Ad ogni ottava crescente il colore acquista un 25% di chiarezza, mentre per le ottave decrescenti si parte perdendo un 10% di chiarezza al primo salto di ottava, per le ottave seguenti si aggiunge sempre un 5% ad ogni salto, esempio: 15%, 20%, 25%, 30% etc.

In fig.80 viene rappresentata la stessa spirale vista in pianta. In questa rappresentazione le ottave partono dal centro e scorrono radialmente verso l'esterno, mentre le note si susseguono lungo la curva a spirale. Questa immagine ha un impatto maggiore a livello percettivo sulla sequenza dei colori e sul grado di chiarezza.

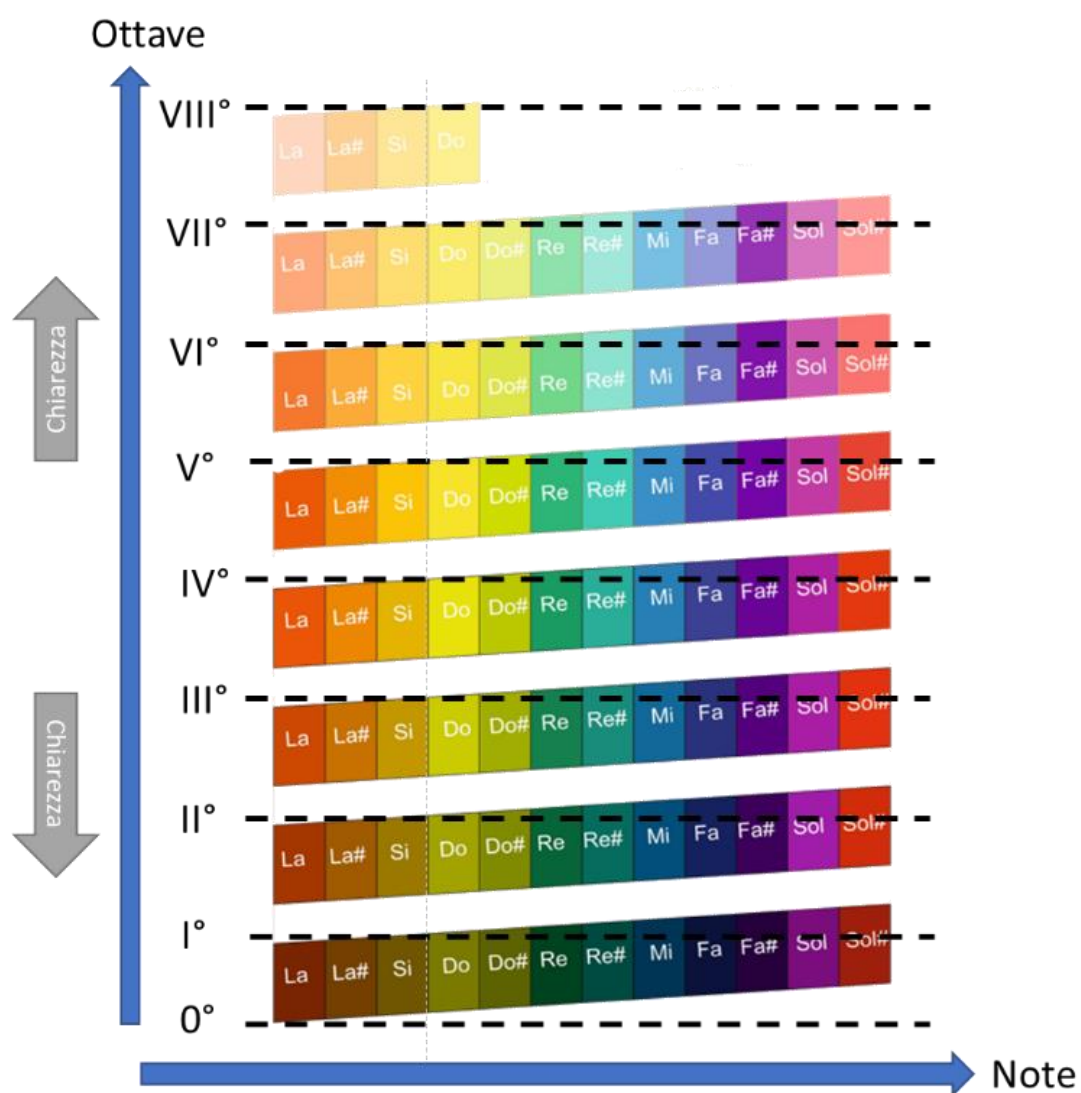
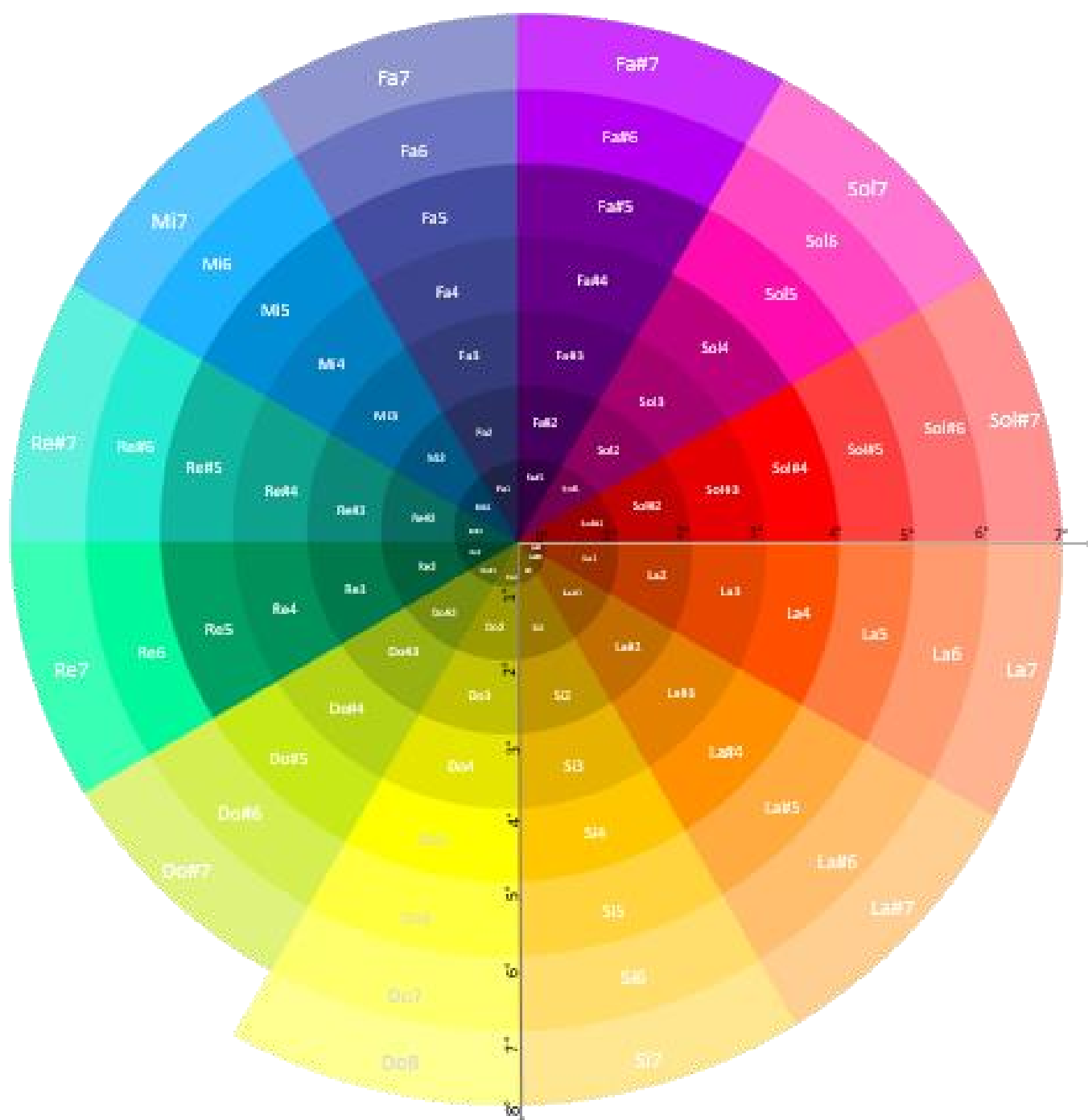


Fig. 79
Sviluppo spirale fono cromatica
(pianoforte).



Spirale fono cromatica.
Sequenza ottave.
(pianoforte)
Fig. 80

Scala cromatica	4° Ottava		Scala cromatica	5° Ottava	
	frequenza	lunghezza d'onda		frequenza	lunghezza d'onda
	Hz	m		Hz	m
DO 4	261,65	1145764	DO 5	523,31	572882
DO# 4	277,22	1081419	DO# 5	554,44	540710
RE 4	293,72	1020688	RE 5	587,43	510344
RE# 4	311,19	963368	RE# 5	622,38	481684
MI 4	329,71	909267	MI 5	659,42	454633
FA 4	349,33	858204	FA 5	698,65	429102
FA# 4	370,11	810008	FA# 5	740,22	405004
SOL 4	392,13	764519	SOL 5	784,26	382260
SOL# 4	415,46	721585	SOL# 5	830,93	360792
LA 4	440,00	681346	LA 5	880,00	340673
LA# 4	466,18	643083	LA# 5	932,36	321542
SI 4	493,92	606968	SI 5	987,84	303484

In figura 81 è stato riprodotto l'effetto cromatico di tre note uguali suonate da strumenti differenti su ottave differenti.

1. Pianoforte: Do5 523 Hz – Mi5 659 Hz – Sol6 784 Hz
2. Chitarra acustica: Do3 131 Hz – Mi3 165 Hz – Sol4 392 Hz
3. Basso elettrico: Do2 65 Hz – Mi2 82 Hz – Sol2 98 Hz

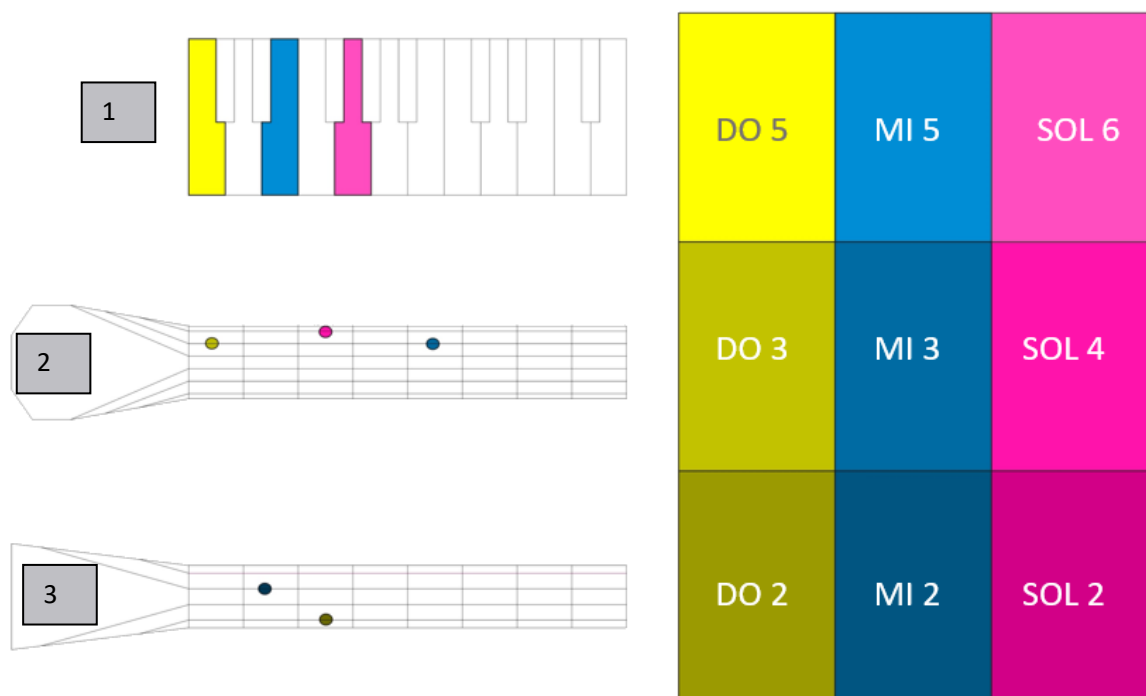


Fig. 81
Note e colori suonati da
strumenti differenti su ottave
differenti

Da questa immagine non vi è alcuna distinzione tra i tre strumenti a livello di tipologia di suono (Timbro), poiché qui vengono solo rappresentate le differenze cromatiche legate alla frequenza in quanto suonano su ottave differenti.

Quando ascoltiamo la musica, riusciamo a percepire in maniera distinta gli strumenti inseriti nel brano.

I parametri del colore rappresentati nel capitolo 1 possono essere utilizzati per rappresentare il timbro di uno strumento? La risposta è no. Si rimanda la trattazione di questo argomento al capitolo 9.

8 Il colore degli accordi

Un altro punto importante sono gli accordi, che in genere sono formati da tre o più note. Da qui la domanda nasce spontanea: che colore avranno gli accordi? Si possono fare due ipotesi:

1. Il colore viene generato dalla somma dei colori delle note che compongono l'accordo. Di seguito viene mostrato un esempio con accordo di DO5 (fig.82):

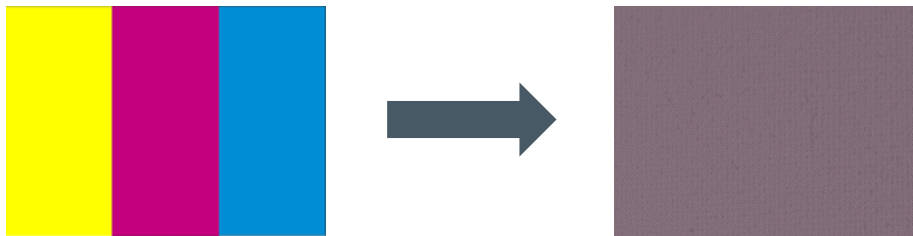


Fig.82
Ipotesi accordo di DO da
somma dei colori da cui viene
formato

Nell'esempio mostrato il colore risultante è un grigio caldo, questo risultato sarà comune a tutte le triadi di colore con sfumature differenti.

Il problema dei colori ottenuti con questo tipo di approccio è che non rientrano in nessuna delle frequenze dei colori che li hanno generati.

2. Si potrebbe calcolare la frequenza derivata dalla somma delle tre note attraverso la sovrapposizione degli effetti. Per la somma di tre onde periodiche con frequenze multiple, vale la regola delle armoniche secondarie che formano la nota, pertanto la nota fondamentale (nota a frequenza minore), nel nostro caso il DO5, produce la frequenza dell'accordo. Ne consegue che il colore dell'accordo è uguale al colore della nota.

Per distinguere il colore dell'accordo da quello della nota, si potrebbe pensare di utilizzare delle sfumature di colore prendendo la tonalità in frequenze vicine a quella del DO. Prendiamo come esempio il DO5, dove la frequenza è di circa 523 Hz (fig.83).

In figura 84 viene raffigurato l'accordo di DO5 sullo sfondo e la nota DO5 in primo piano. In questa prova sono stati scelti i due limiti con i seguenti valori RGB da R255 G237 B3 a R254 G224 B3, i valori vanno interpretati da destra verso sinistra. La prima gradazione va verso il colore del giallo verde DO#, mentre la seconda gradazione va verso il giallo arancio del SI.

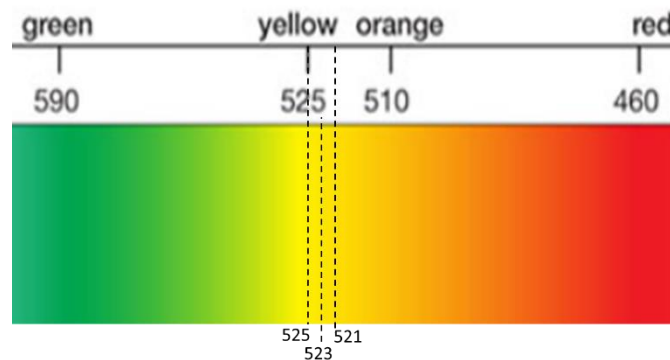


Fig. 83

Intervallo frequenza DO per
accordo di DO.



Fig. 84

Esempio di colore accordo di
DO sullo sfondo e nota DO in
primo piano.

Si potrebbe anche pensare di lasciare il colore giallo identico tra accordo e nota e giocare sulla geometria o sul posizionamento relativo tra nota e accordo. Serviranno delle prove per valutare il sistema che possa offrire il miglior impatto a livello visivo.

In figura 85 viene rappresentato a titolo di esempio una sequenza di note su accordo di DO sfumato.

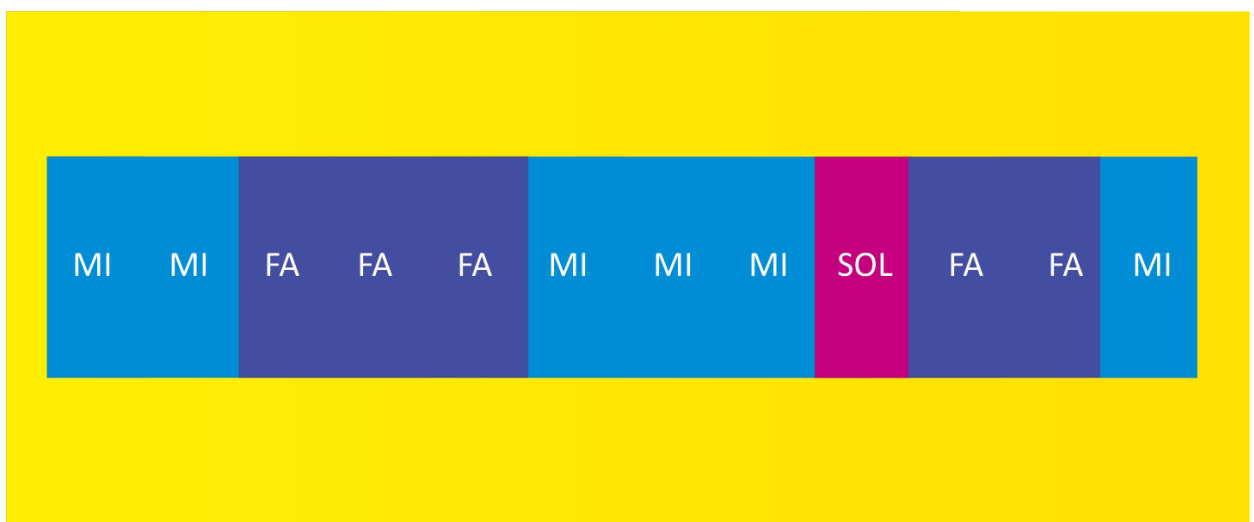


Fig. 85
Sequenza note su accordo di
DO.

9 La forma del suono (il timbro)

Dopo aver parlato di note, spostiamo l'attenzione, su un altro parametro importante della musica: **“il timbro”**.

Il timbro è una qualità che identifica la tipologia di suono; da esso riconosciamo cosa sta suonando; pertanto, nessun attributo del colore riesce a rappresentare tale qualità del suono.

Il timbro, a livello immaginativo è associato alla forma; per esempio, quando sentiamo il suono di una tromba, la mente ci porta subito ad immaginarla. Così se sentiamo un cane abbaiare, un gatto

miagolare, etc... **Il timbro è la forma della voce**; perciò, deve essere legato ad una forma specifica.

Se, per esempio una tromba e una chitarra suonano la stessa nota, l'intensità e l'altezza del suono saranno uguali, ma la forma che l'onda avrà sarà differente. Questo è dovuto alle armoniche secondarie che vanno a comporre la nota, queste armoniche andranno sovrapponendosi all'onda principale, (chiamata fondamentale), in modo differente, generando di conseguenza due forme d'onda distinte. Le armoniche però, sono condizionate dalla struttura dello strumento che le genera. Per esempio, le armoniche della chitarra, che producono il suo timbro, sono frutto della cassa armonica dello strumento. La modalità di propagazione delle onde cambia a seconda delle caratteristiche geometriche e del materiale del mezzo che le genera. In figura 86 sono mostrati tre timbri emessi da strumenti differenti: un diapason, un flauto e una chitarra. Come si vede dalle immagini, il timbro della chitarra tende a discostarsi in maniera più evidente dalla forma ideale del diapason, mentre il flauto tende ad avvicinarsi di più. Questo è dovuto alla forma dei due oggetti.



Fig.86
Confronto tra onde emesse da
strumenti differenti

Grazie agli studi di Chladni e in seguito a quelli di Hans Jenny, sappiamo che in funzione della frequenza di risonanza degli armonici si formano figure geometriche differenti. La scienza che studia questi fenomeni si chiama: "cimatica". Negli esperimenti vengono posti dei piatti metallici (sono usati anche vetro, ceramica e terracotta) sopra fonti sonore (in genere altoparlanti), sui quali viene versata della sabbia. Quando l'onda sonora entra in contatto con il piatto, questo inizia a vibrare e, tramite la sabbia, si formano delle forme geometriche regolari. La sabbia si posiziona lungo "le linee nodali", che è l'insieme dei punti del piatto dove la vibrazione è nulla.

In funzione della forma del piatto, a parità di frequenza emessa dalla sorgente sonora, la forma del reticolo crea dei rapporti geometrici differenti; pertanto, la forma finale sarà differente se il piatto è triangolare, tondo o quadrato.

In figura 87, possiamo vedere alcune forme ottenute con l'ausilio dell'acqua al posto della sabbia, le sequenze mostrate riproducono le frequenze delle note dal DO₂ al Si₂ (le immagini non sono messe in ordine di frequenza dalla più bassa alla più alta). Va ricordato che i suoni sono sempre mediati per mezzo di un amplificatore che stabilizza la frequenza del suono; pertanto, lo strumento che emette la frequenza non genera differenze sulla forma ottenuta.

Ciò che determina la simmetria della forma, sia essa ottenuta da un piatto tondo, quadrato o rettangolare, è il posizionamento del piatto stesso. Un appoggio (o vincolo) simmetrico produrrà sempre forme simmetriche.

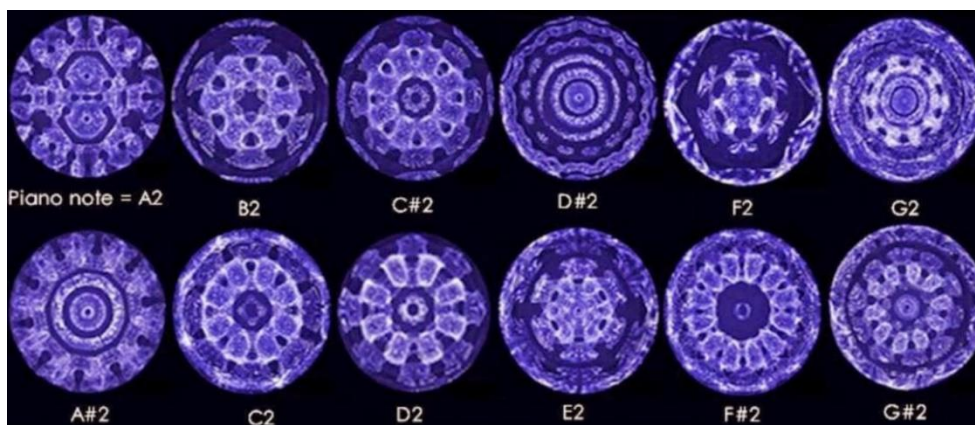


Fig.87
Forme ottenute dalle frequenze delle note musicali per mezzo dell'acqua.

Le note seguono la dicitura inglese: A=LA, B=SI, C=DO, D=RE, E=MI, F=FA, G=SOL.

Nello studio, come scritto sopra, non emergono differenze geometriche in relazione allo strumento suonato che emette la frequenza, in quanto la sorgente che emette il suono è un amplificatore che normalizza la frequenza sull'armonica fondamentale; pertanto, la forma è derivata dalla frequenza emessa sia che essa derivi da un flauto o da un violino.

L'unica differenza emersa (come specificato sopra) è legata alla forma geometrica del piatto messo in vibrazione, pertanto da qui nasce la domanda: è possibile associare agli strumenti delle forme geometrie piane? Quale criterio si può utilizzare in tale processo di associazione?

Gli strumenti hanno caratteristiche fisiche differenti e spesso vengono associati a diverse qualità di derivazione simbolica secondo alcune analogie con lo strumento. Per esempio:

- La chitarra (strumento cordofono a pizzico) è formata principalmente da una cassa armonica e da alcune corde che se pizzicate emettono un suono che vibra con timbri e armoniche differenti in funzione del tipo di corda e della forma della cassa. A livello simbolico la chitarra è definita: "uno strumento viscerale", in quanto viene abbracciata dal musicista; spesso si usa l'espressione: "fa l'amore con la

chitarra” per definire le grandi qualità di un chitarrista. Pertanto, la chitarra può essere vista come uno strumento legato alla sfera dei sensi.

- Il pianoforte (strumento cordofono, a corde percosse) è composto principalmente da: cassa e tavola armonica, struttura portante e rivestimento esterno, da una tastiera, da dei martelletti, da una cordiera e da dei pedali. I tasti sono connessi ai martelletti che, una volta azionati dai tasti, battono sulle corde poste all'interno della cassa. I pedali prolungano il suono delle note. Il pianoforte, essendo uno strumento molto antico, ha avuto nel tempo molte attribuzioni di natura simbolica. Spesso viene definito: “strumento cerebrale”, in quanto è visto come rigoroso e matematicamente perfetto, ma è anche associato all'immagine di famiglia. In passato si usava riunirsi tutti insieme in casa ad ascoltare il pianoforte suonato da un familiare, ma rappresentava anche lo stato sociale e il lusso. Il pianoforte è lo strumento che meglio incarna la realtà.
- Il saxofono (strumento appartenente alla famiglia degli aerofoni) è uno strumento musicale fatto di ottone formato dalle seguenti parti: il bocchino, il porta voce, il collo, il corpo, i tasti e le chiavi e la campana (fig,88). Lo strumento viene suonato da seduti o in piedi grazie ad un sostegno a tracolla. Lo strumento musicale è associato ad un'estensione dell'anima, non per niente è uno dei principali fiati utilizzati nella musica soul (anima), il suo suono può essere allegro, malinconico o elegante. È uno strumento che rompe gli schemi uscendo dalle rigide regole imposte dalla musica.

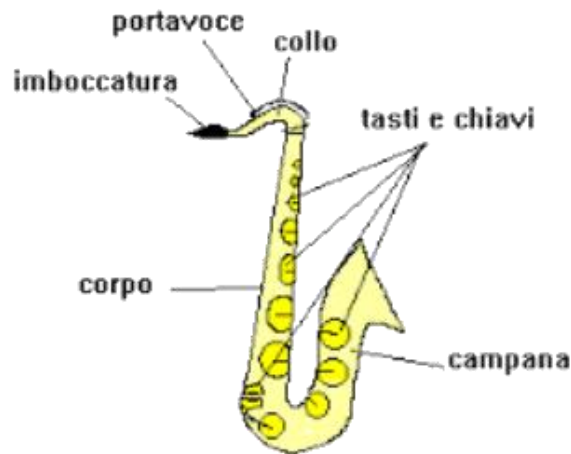


Fig.88

Schema delle parti che compongono il sassofono.

- Il tamburo (strumento appartenente ai membranofoni) è formato da una cassa a forma cilindrica fatta di legno. La cassa è chiusa alle due estremità da due membrane in genere fatte di materiale sintetico o pelle di animale, queste due membrane sono messe in tensione da dei tiranti posti lungo la superficie del cilindro in legno equidistanti tra di loro. In genere tutti i tamburi sono associati ai riti magici, siano essi di natura iniziatica o altro, poiché essi permettono di prendere contatto con ciò che è in alto, con il mondo spirituale. Il tamburo crea l'asse di comunicazione tra cielo e terra e pertanto come simbolo gli viene associato anche l'albero della vita. Un altro simbolo che spesso gli viene associato è quello della montagna, poiché il suono del tamburo proietta verso il cielo, ma non solo, esso è visto anche come un albero rovesciato le cui radici sono connesse al cielo. Per questa sua natura di unire ciò che è in basso con ciò che è in alto, viene quindi associato alla montagna. Il tamburo scandisce il tempo e segna l'inizio.



Fig.89
Immagine di una persona
intenta a suonare il tamburo ai
piedi della montagna.

L'elenco degli strumenti è molto vasto e può essere complesso trovare analogie simboliche per quelli meno conosciuti, è certo però che la loro simbologia è associata fortemente a fattori culturali legati agli usi e costumi dei popoli che ne hanno fatto uso nel passato. Tali associazioni, figlie di culture differenti, si sono tramandate fino ad oggi mantenendo integro il loro valore simbolico (si pensi solo ai centri benessere dove gli strumenti a percussione vengono utilizzati nelle stanze della meditazione). Alla luce di ciò non scarterei l'ipotesi di trovare, in virtù di queste associazioni, una corrispondenza simbolica con le forme geometriche anche loro ricche di significati radicati nella nostra cultura. Proviamo a ragionare per famiglie di strumenti per valutare se è possibile associarli a una forma geometrica elementare.

Le famiglie degli strumenti musicali sono 5:

1. Aerofoni sono composti da quattro sottofamiglie.
 - 1.2. A serbatoio d'aria: fisarmonica, organo a canne, zampogna.
 - 1.3. Ad ancia semplice: clarinetto, sassofono, oboe, fagotto.
 - 1.4. A bocchino: tromba, trombone, corno, basso tuba.
 - 1.5. Ad imboccatura diretta: flauto traverso, flauto dolce, l'ocarina.
2. Cordofoni sono composti da tre sottofamiglie.
 - 2.1. A corde sfregate: violino, viola, violoncello, contrabbasso.
 - 2.2. A corde pizzicate: chitarra, banjo, arpa e clavicembalo
 - 2.3. A corde percosse: pianoforte.
3. Membranofoni: tamburo, grancassa, bongo, rullante.
4. Idiofoni: xilofono, nacchere, piatti, triangolo, vibrafono, hang, gong, maracas.
5. Elettrofoni, sono strumenti attivati da un circuito elettronico: tastiera, batteria elettronica, basso elettrico, chitarra elettrica.²⁵

Le forme geometriche vengono spesso associate a differenti significati simbolici:

- Il cerchio rappresenta l'armonia, l'unione, l'idea del tempo circolare, il cielo, il cosmo e la dimensione intellettuale e spirituale, la libertà, l'infinito.
- Il quadrato rappresenta ciò che è solido, pratico, stabile, che segue una regola, e protegge ciò che racchiude pertanto è associato al concetto di casa e di famiglia.
- Il rombo è l'instabilità (il quadrato si poggia su un vertice e diventa instabile) è ciò che scombussola, rompe lo stato di quiete.

²⁵ <https://unmondodimusicablog.wordpress.com/2020/03/02/834/>

- Il triangolo è ciò che porta a ricongiungersi, rappresenta la stabilità, indica una direzione, un percorso e dà inizio alle cose. Quando è rivolto verso l'alto indica movimento mentre, quando è rivolto verso il basso rappresenta l'attesa. Per la sua forma evoca l'immagine della montagna.

Volendo azzardare un'associazione con quattro delle cinque categorie degli strumenti musicali si potrebbe trovare la seguente correlazione:

1. Gli Aerofoni li assocerei al cerchio. In prima battuta perché hanno una forma tubolare (ad eccezione dell'armonica) ed eseguendo una sezione trasversale di questi strumenti, vengono a formarsi dei cerchi. I fiati sono gli strumenti che meglio rappresentano il concetto di spiritualità e di divino (ad esempio ricorre spesso l'immagine dei cherubini che suonano le trombe alle porte del paradiso). Il cerchio rappresenta la libertà, così come il suono del flauto o dell'armonica rimandano all'immagine del viaggio mentre ci si accompagna con questo strumento. Il cerchio rompe gli schemi rigidi del realismo derivante dal quadrato e simboleggia l'uscita dal mondo del reale.
2. I Cordofoni potrebbero essere associati al quadrato, principalmente per il concetto di "ciò che è racchiuso" e di stabilità. Questi strumenti, ad eccezione dell'arpa, presentano delle casse. Pianoforte, contrabbasso, clavicembalo e arpa rappresentano la stabilità in quanto sono appoggiati al terreno. Chitarra e pianoforte vengono spesso associati al concetto di focolare, basti pensare al classico momento in cui durante una serata in famiglia si prende la chitarra per produrre melodie da cantare tutti assieme, stessa cosa vale anche per il pianoforte (come già spiegato a pag.111).
3. I Membranofoni sono coloro che dettano il tempo, che danno il ritmo; perciò, credo che il triangolo sia la forma più adeguata a questo tipo di strumenti. Sia il triangolo che i tamburi

vengono associati alla montagna, il triangolo punta verso il cielo staccandosi dal mondo materiale ed il tamburo è il mezzo che dà il via a questo processo spirituale mostrando anche la direzione.

4. Gli idiofoni sono gli strumenti più divertenti e imprevedibili, pertanto li assocerei al rombo. Lo xilofono è la versione meno rigorosa del pianoforte (il quadrato si poggia su uno spigolo, è il pianoforte che diventa xilofono rovesciando i suoi rigidi schemi). Rappresenta una situazione instabile, un processo rivoluzionario, si provi ad immaginare il suono di un triangolo o dei piatti che richiamano l'attenzione verso qualcosa di nuovo ed imprevisto che sta accadendo.

In questo primo tentativo di attribuzione di forme geometriche regolari agli strumenti, lascerei fuori gli elettrofoni, in quanto derivati dagli strumenti sopracitati con l'aggiunta di supporto tecnologico che ne va ad amplificare le prestazioni. A mio avviso utilizzerei le stesse attribuzioni fatte sopra, perciò al basso e alla chitarra elettrica verrà sempre associato il quadrato, così come alla tastiera. In figura 90 viene rappresentato un riepilogo della teoria di associazione tra forme e famiglie di strumenti.

	Airofoni	Cerchio	Cordofoni	Quadrato	Membranofoni	Triangolo	Idiofoni	Rombo
Caratteristiche simboliche	Spiritualità	Femminilità	Famiglia	Solidità	Montagna	Spostamento	Divertente	Uscire dallo stato di quiete
	Divino	ciclo della vita	Focolare	Stabilità	Direzione	Direzione	Imprevedibile	Movimento
	Cosmo	Eternità	Stabilità	Protezione	Elevazione	Percorso	Instabilità	Instabilità
	Libertà	Mondo spirituale	Racchiudere	Racchiuso	Dare inizio a qualcosa	Satbilità duratura	Rvoluzione	Squilibrio intenzionale
	Condurre	Guidare		Casa	Movimento	Crescita		
						Azione		

Fig.90
Tabella riepilogativa di alcune
caratteristiche simboliche degli
strumenti e delle forme
geometriche.

Al di là delle possibili associazioni simboliche tra forme geometriche e strumenti, ritengo che prima debba essere fatta

un'indagine più approfondita sotto l'aspetto del suono emesso dagli strumenti in rapporto a una qualche regola di natura fisica, ma d'altro canto non mi sento di scartare l'ipotesi legata alla natura simbolica degli strumenti e dei simboli geometrici, derivata da motivazioni perlopiù di natura culturale. La cultura non sarà regolamentata da un sistema scientifico che ne identifichi perfettamente le dinamiche, ma è comunque colei che forma la mente dei popoli e di conseguenza il modo di vedere la realtà.

Proviamo ora a rappresentare come verrebbe a livello geometrico una nota (o più) prodotta da uno strumento. Prendiamo come esempio il sassofono. Partiamo dalla sua forma geometrica: se lo si osserva attraverso la sua sezione in senso trasversale proiettata in pianta (fig. 91), si può notare che il diametro del corpo fino alla campana segue una sezione variabile lungo una curva. Tornando al concetto di cerchio associato agli strumenti aerofoni, possiamo creare la forma del suddetto cerchio in funzione della forma fisica dello strumento. In questo caso potremmo pensare di utilizzare una serie di cerchi racchiusi uno dentro l'altro (non concentricamente) che rappresentino la sezione variabile dello strumento. In figura 92 è rappresentata un'ipotesi di forma del timbro del sassofono sulle note SOL4, SI4 e RE5 ed i rispettivi colori associati.

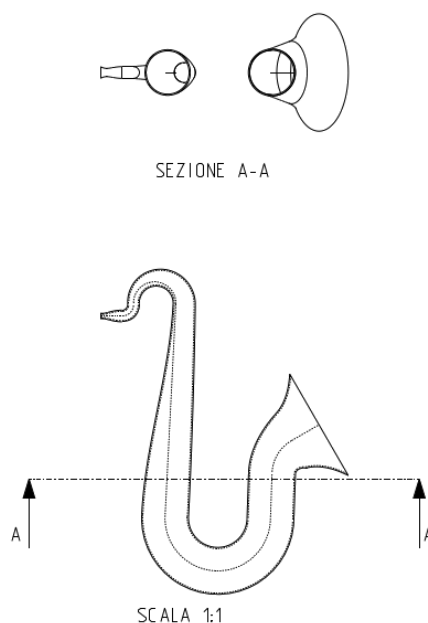


Fig.91
Immagine schematizzata
vista laterale e sezione
trasversale sassofono.



Fig.92
Ipotesi di timbro del sassofono
sulle note Sol4, Si 4 e Re5

In aggiunta a tale forma si potrebbe inserire come sfondo la forma geometrica derivata dalla frequenza (vedi pag.110 fig.87).

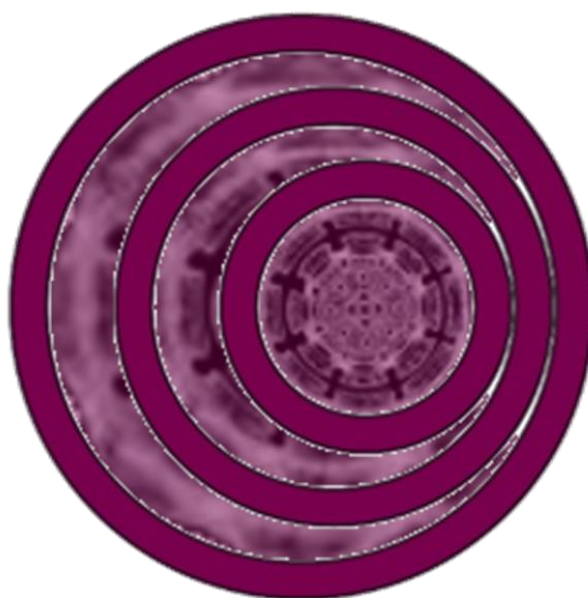


Fig.93
Ipotesi di timbro del sassofono
nota Sol1 con immagine
cimatica della frequenza.

Andrebbero studiate più ipotesi inerenti alla possibilità di dare una forma al timbro dello strumento in modo da confrontarle anche attraverso dei test. Per ora rimane questa proposta impostata secondo le considerazioni fatte in merito alla forma geometrica della frequenza e alla simbologia che potrebbe legare strumento e forma geometrica.

10 Valutazione delle sequenze cromatiche

In questo capitolo si andrà a valutare la validità della nuova sequenza fonocromatica ideata (cap.6).

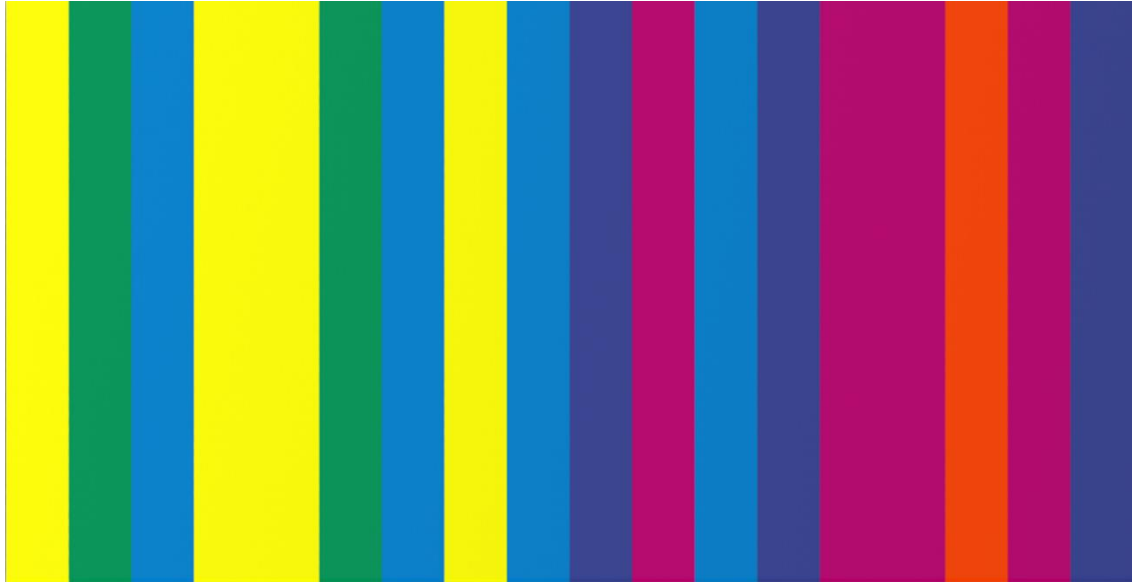
Verranno presentate a dei soggetti delle sequenze di colori che riproducono sia passaggi musicali armonici che non armonici, e si chiederà loro di esprimere un giudizio su queste sequenze in termini di armonia di accostamento tra i colori. Verrà dunque valutata la percezione visiva da parte dei test in funzione delle sequenze osservate.

Pertanto, sono state scelte 4 sequenze di colori utilizzando la scala fonocromatica, al fine di valutare se attraverso la vista è possibile riconoscere una sequenza armonica da una non armonica.

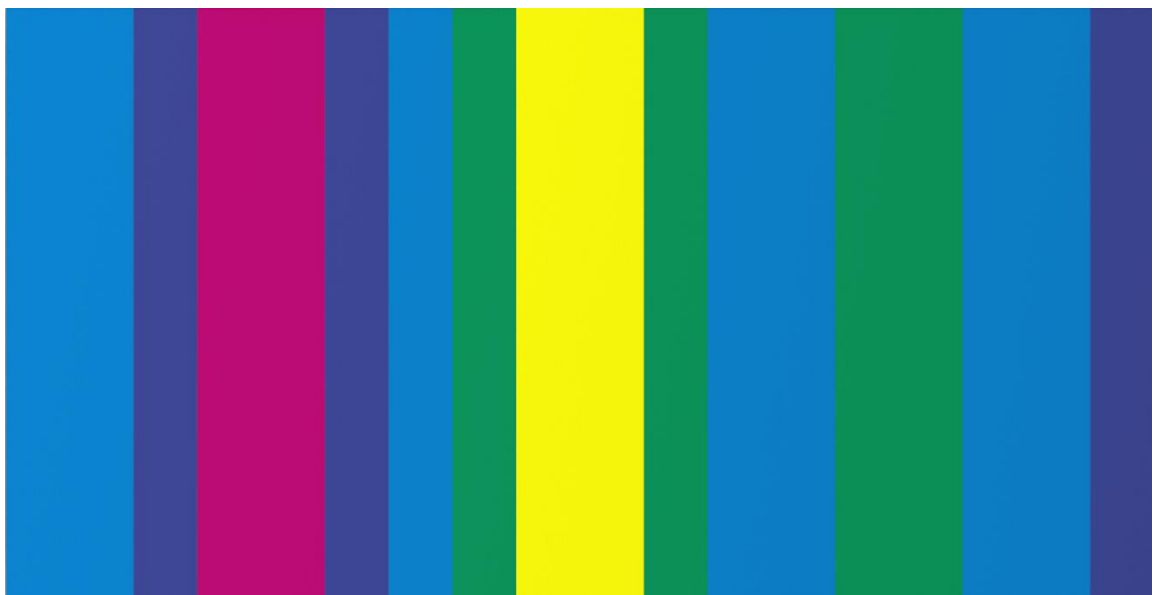
La forma rettangolare delle asticelle colorate vuole riprodurre la scelta geometrica fatta da Veronesi, ma senza osservare le dimensioni da esso suggerite per la definizione della durata di ogni singola nota, in quanto, in questa prima analisi, si vuole solo valutare la reazione delle persone all'accostamento cromatico fra i singoli colori derivati dalle note.

Di seguito le sequenze utilizzate per il test:

Sequenza 1



Sequenza 2



Sequenza 3



Sequenza 4



Il campione è formato da maschi e femmine, in percentuali differenti, per un totale di 98 persone. È stato chiesto ai soggetti di esprimere un parere sulle quattro sequenze determinando quale per loro risultasse una sequenza armonica e quale no. Nella tabella sotto sono riportati i dati ottenuti sul totale degli osservatori:

	armonico	disarmonico	Totale	% Armonico	% Disarmonico
1	74	24	98	76	24
2	76	22	98	78	22
3	53	45	98	54	46
4	12	86	98	12	88

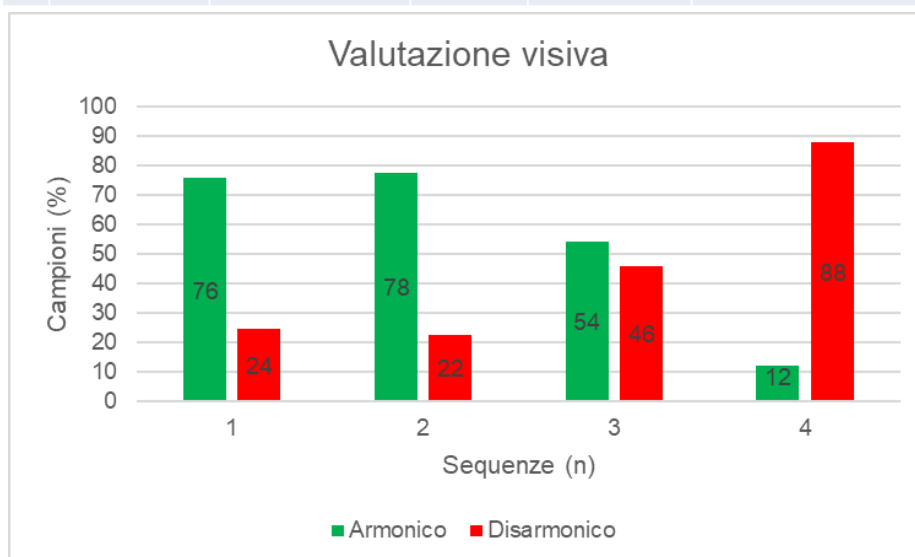


Fig.94
Grafico valutazione visiva riassuntivo
armonico/disarmonico

Dall'analisi a campione è emersa una percezione più armonica in relazione alla prima e alla seconda sequenza (fig. 94), rispettivamente il 75% ha giudicato più armonica la sequenza 1 e il 78% la sequenza 2. La sequenza 3 ha destato nei soggetti testati un certo grado di incertezza nella scelta tra armonico e disarmonico, con un risultato finale di 54% armonico e 46%

disarmonico. Mentre per la sequenza 4 la percentuale di soggetti che l'hanno definita disarmonica è molto elevata 88%.

A questo punto è utile fare una precisazione sulla differenza di percezione visiva tra uomini e donne. Secondo diversi studi scientifici, la percezione dei colori da parte delle donne e degli uomini avviene in maniera diversa. Per esempio, le donne vedono il mondo con colori più caldi e, nella maggior parte dei casi, sembrano distinguere le tonalità di rosso meglio degli uomini. Gli uomini, invece, sono più abili a percepire le immagini a basso contrasto e riescono a seguire meglio movimenti rapidi. Sembrerebbe che questa differenza sia dovuta all'origine evolutiva: in tempi primordiali, ad esempio, la donna doveva occuparsi del raccolto, pertanto, doveva essere in grado di distinguere le bacche rosse sui cespugli verdi, mentre l'uomo, dedicandosi alla caccia di animali selvatici, sviluppava la capacità di seguire gli oggetti in movimento.

Un altro interessante dato sulle differenze percettive del colore tra uomo e donna, arriva da uno studio portato avanti dai ricercatori della CUNY's del Brooklyn College (City University of New York) con a capo Israel Abramov. Attraverso questo studio è stato dimostrato come le donne siano in grado di cogliere piccole sfumature di colore a differenza dell'uomo. Da ciò ne deriva che il vocabolario femminile per esprimere le diverse tonalità di colore sia più ricco e articolato.

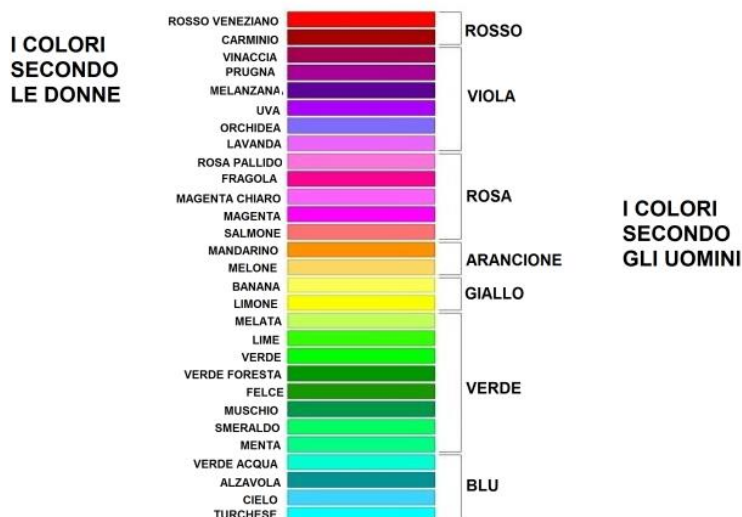


Fig.95
Differenze percettive
tra uomo e donna
nella visione dei
colori.

Sono stati condotti diversi test per valutare le differenze percettive tra uomo e donna, il primo di questi test ha evidenziato la capacità da parte delle persone di sesso maschile di cogliere immagini sfarfallanti e a intermittenza. In queste condizioni questi soggetti sono in grado di identificare facilmente l'oggetto dell'immagine; mentre per le donne questo non avviene. Loro al contrario di fronte alle stesse immagini non erano in grado di percepire alcuna figura. In un altro test, utilizzato per valutare la rifrazione dei colori, venivano proiettati differenti tonalità sulla superficie di un vetro smerigliato. In questo caso, i soggetti di sesso femminile hanno saputo differenziare meglio le diverse sfumature dei colori rispetto agli uomini.

Tali differenze riscontrate nei test, ai fini del nostro studio, non sembrano dare valore aggiunto in merito alla scelta di una sequenza rispetto ad un'altra tra uomini e donne. Di fatto nel test non vengono espresse preferenze tra colori caldi o freddi e tra accostamenti cromatici differenti, ma solo una capacità percettiva differente.

Gli studi hanno valore solo in termini statistici e non sono una regola; pertanto, la percezione del colore è sempre un qualcosa di molto soggettivo al di là del sesso. Di sicuro i fattori ormonali incidono sui centri nervosi andando a stimolare aree diverse del cervello, e questo è stato dimostrato scientificamente; così come le connessioni neuronali all'interno del cervello tra uomo e donna, agiscono in maniera differente. È stato visto che gli uomini hanno molte connessioni neuronali tra la parte anteriore e quella posteriore del cervello, mentre le donne hanno più connessioni tra i due emisferi. Tale differenza comporta una rapidità maggiore da parte dell'uomo di processare le informazioni, mentre la donna attiva connessioni solo tra emisfero sinistro ed emisfero destro e ciò le consente di migliorare i processi analitici e intuitivi.

Nella tabella di seguito abbiamo scorporato i campioni maschili da quelli femminili. Come si può vedere dal grafico di figura 96, non

ci sono differenze apprezzabili tra uomini e donne nella scelta della sequenza cromatica.

	armonico		disarmonico		Totale M	Totale F	% Armonico M	% Armonico F	% Disarmonico M	% Disarmonico F
	M	F	M	F						
1	48	26	7	17	55	43	87	60	13	40
2	41	35	14	8	55	43	75	81	25	19
3	30	23	25	20	55	43	55	53	45	47
4	5	7	50	36	55	43	9	16	91	84

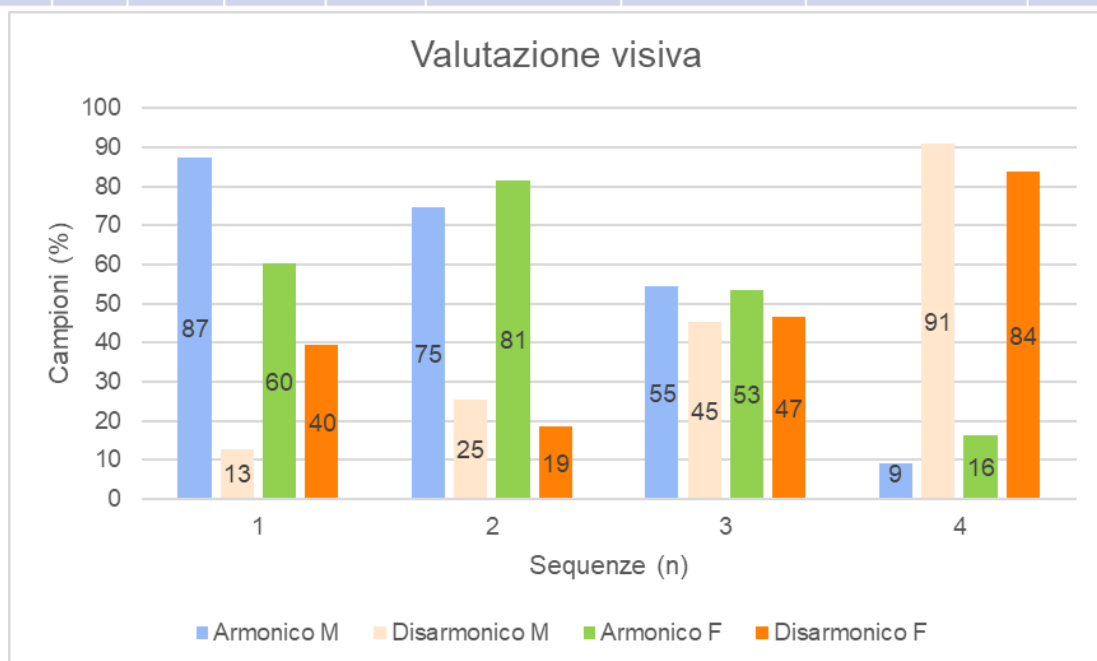


Fig.96
Grafico valutazione visiva
riassuntivo
armonico/disarmonico M vs F

Durante i test, si sono volute raccogliere alcune impressioni e motivazioni in merito alle scelte effettuate dai soggetti. Di seguito sono elencate le motivazioni che hanno spinto le persone verso una determinata sequenza cromatica:

- **Piacevolezza dei colori.** La maggior parte dei campioni testati ha espresso un senso di piacevolezza

nell'osservazione di alcuni colori. I colori presenti nella sequenza 1 e 2 sono stati maggiormente apprezzati dai soggetti testati.

- **Accostamento dei colori.** Buona parte dei soggetti ha espresso una propria valutazione sugli accostamenti cromatici mostrati, indicando le sequenze 1 e 2 come quelle più armoniche.
- **Senso di rilassatezza.** Una buona parte delle persone che ha scelto la sequenza 2, ha motivato la propria scelta in funzione di un senso di rilassatezza percepita durante l'osservazione dei colori utilizzati nella sequenza.
- **Estrazione culturale.** La maggior parte delle persone che ha definito la sequenza 4 come armonica, ha motivato la scelta in virtù di un senso di familiarità con i colori utilizzati legata alla propria cultura o ad uno spiccato interesse per culture dove tali colori vengono spesso accostati. Es: abiti sudamericani e africani.

Durante il test è emerso che non tutte le persone sono riuscite a dare una valutazione ragionando sulla sequenza cromatica mostrata, la maggior parte di esse ha giustificato la propria scelta associandola più ad un discorso di «piacevolezza dei colori», ed in secondo luogo per gli «accostamenti».

Nonostante le motivazioni delle scelte, il numero di campioni analizzato è ancora molto ristretto, pertanto non sufficiente a determinare una valutazione sulla teoria di associazione tra colori e musica.

Di sicuro la disposizione grafica del colore non è di grande impatto sensoriale. Ci verrebbe in aiuto l'uso di un sistema in grado di produrre una dissolvenza tra le successioni dei colori, poiché questo potrebbe risultare più efficace ai fini della risposta sensoriale.

Nonostante ciò, il risultato ha dato un esito positivo, in quanto le sequenze 1 e 2 sono riferite proprio a due brani: “Fra Martino Campanaro” e “L’inno alla gioia”.

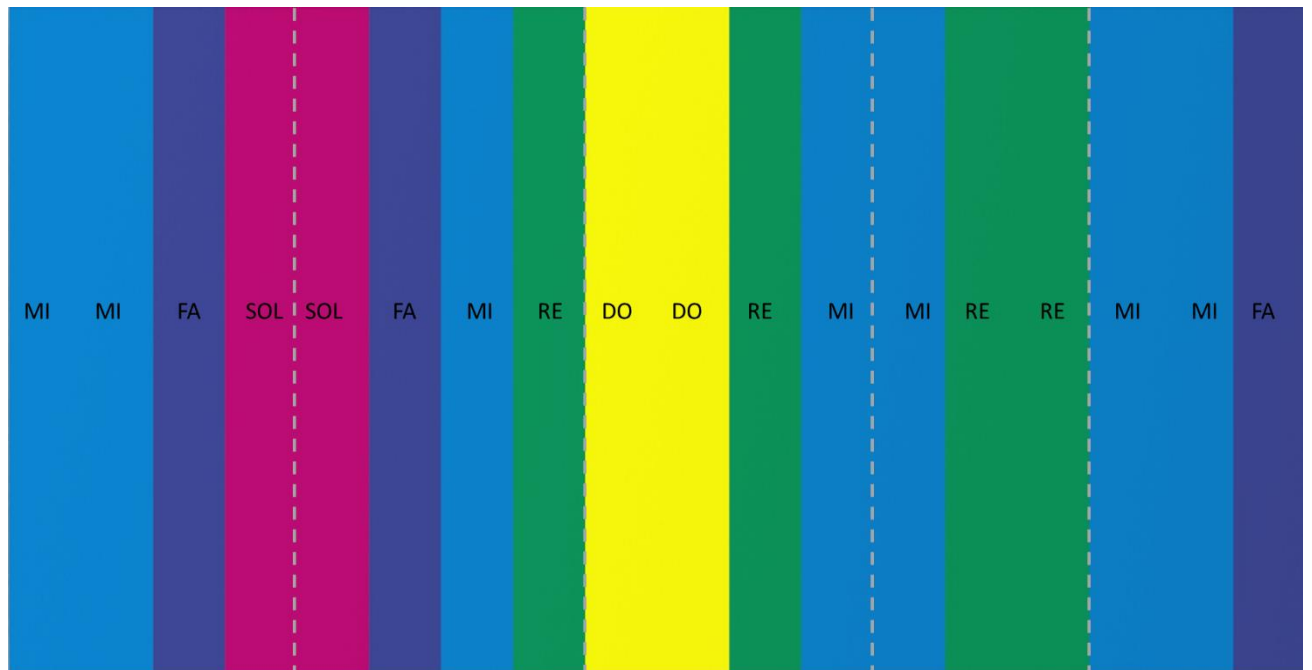
Le sequenze 3 e 4 non si riferiscono a melodie note e non seguono dei passaggi tra le note armonici. Nel caso della sequenza 3, qualche passaggio è armonico, ma non fa riferimento a nessuna melodia nota, mentre la sequenza 4 è totalmente disarmonica.

Vediamo ora le sequenze con le note indicate.

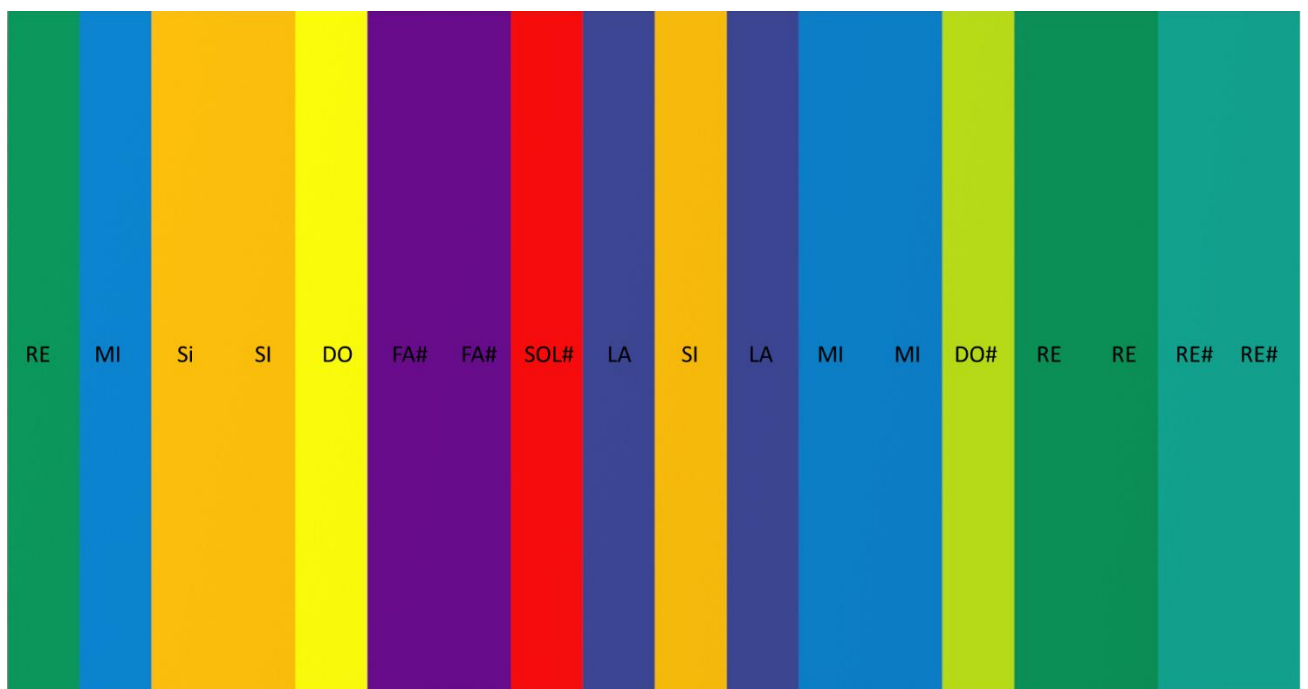
Fra Martino Campanaro

DO	RE	MI	DO	DO	RE	MI	DO	MI	FA	SOL	MI	FA	SOL	SOL	LA	SOL	FA
Fra	Mar	ti	no	cam	pa	na	ro	dor	mi	tu	dor	mi	tu	suo	na	le	cam

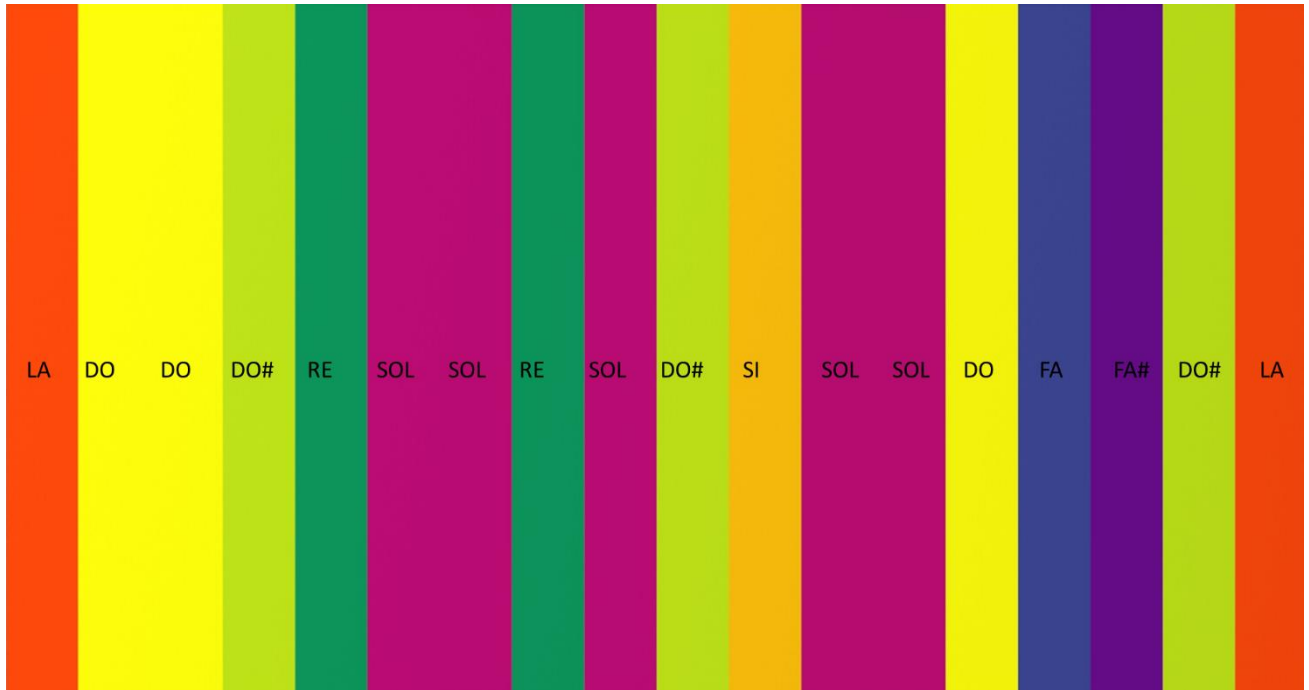
L'inno alla gioia



Sequenza 3 (Casuale)



Sequenza 4 (Casuale)



Per avvalorare la teoria proposta nel capitolo 6 e valutata attraverso dei test visivi nel capitolo 10, potrebbe essere interessante effettuare un altro tipo di test andando ad isolare quattro dei cinque sensi e mantenendone attivo solo uno. Ad esempio, per quanto riguarda la vista, si potrebbe proiettare una sequenza legata ad una melodia facendola percepire al soggetto solo attraverso il colore; la stessa melodia dovrà essere poi riproposta al soggetto il quale utilizzerà solo l'udito per percepirla. Fatto questo si andranno a valutare le aree del cervello coinvolte nei rispettivi test per vedere se esiste una corrispondenza.

11 Possibili campi di applicazione della teoria

Qualsiasi uso verrà fatto della teoria sopra esposta, resta da considerare che non è ancora una teoria completa. Di seguito un elenco dei possibili campi applicativi della teoria.

11.1 Ludico e didattico

Colori e musica sono da sempre alla base dei giochi per i bambini. La possibilità di insegnare loro le correlazioni tra i colori e la musica attraverso uno strumento in grado di creare le relazioni indicate nella teoria, aiuterebbe a sviluppare nel bambino una maggiore capacità sensoriale in entrambi gli ambiti, oltre a farlo agire in termini sinestetici. Per esempio, si potrebbe pensare ad una tastiera per bambini con schermo luminoso in grado di proiettare i colori delle note selezionate. Ogni colore proiettato, inoltre, potrebbe anche essere associato a delle forme geometriche. Si potrebbero ad esempio utilizzare le forme geometriche derivate dai rapporti tra le frequenze, denominate figure di Lissajous²⁶ per dare un po' più di dinamismo alle immagini raffigurate.

²⁶ Lissajous fu un matematico francese che attraverso un esperimento per mezzo di un diapason e di uno specchio scoprì che le frequenze delle onde creavano delle forme geometriche in funzione della vibrazione emessa.



Fig.97
Esempi di giochi educativi per bambini.

11.2 Sensoriale

Lo stimolo derivato dalla musica e dai colori è in grado di accedere a diverse aree del cervello umano. Per esempio, la cromoterapia spesso viene associata a determinate musiche, che abbinate alle sequenze cromatiche creano una sorta di rilassamento nel soggetto. Colori e suoni, vibrano per mezzo di onde e vengono percepiti dai sensi. Sarebbe interessante progettare un'esposizione museale, dove si parla della storia della musica e dei colori, mediante una camera in cui il visitatore ha la possibilità di suonare le note su uno schermo e di vedere la camera intera illuminarsi del colore associato alla nota suonata. Qui il discorso geometrico correlato agli intervalli tra le note verrebbe a mancare, sarà però il modo in cui è progettata la stanza a dare un'identità fisica al tutto.



Fig.98
Esempio di una stanza museale in cui si può notare l'uso del colore per creare sensazioni nei visitatori.



Fig.99
Esempio di proiezioni colorate.

11.3 Supporto a deficit sensoriali legati all'udito e alla vista

Colori e suoni sono onde che vengono percepite rispettivamente dalla vista e dall'udito. Dalla teoria si potrebbe pensare ad un sistema che permetta alle persone affette da sordità, di "sentire" il suono attraverso il colore. Per esempio, sarebbe molto interessante poter progettare un'installazione permanente

all'interno delle abitazioni in grado di proiettare in tutto l'ambiente i colori derivati da una melodia.

Diverse persone hanno l'abitudine di accendere la radio e di ascoltare la musica mentre svolgono alcune attività, come ad esempio mentre fanno le pulizie in casa o mentre fanno sport. L'idea di far accendere luci colorate collegate alla musica nell'abitazione potrebbe essere un modo per far percepire e "sentire" la musica anche ai non udenti mediante il colore che inonda la stanza. Dagli studi di sinestesia alcune persone sono in grado di vedere i colori quando ascoltano determinate melodie, qui si cerca di fare il contrario e quindi di dare un'idea della melodia mediante la visione del colore.



Fig.100
Esempio di ambiente
illuminato.

Si potrebbe oppure creare un ambiente con sonorità che guidino gli spostamenti di una persona affetta da cecità. Per esempio, una scala con gradini sonori, dove salendo lungo la rampa le ottave salgono, mentre scendendo decrescono. Si potrebbe usare sempre la stessa nota e farla salire e scendere di ottava, in modo che quando sentiamo il suono acuto o grave, sappiamo di essere alla fine della scala.

Un'altra idea sarebbe quella di unire ai segnali luminosi come i semafori le note relative ai colori: Rosso Sol# - Giallo Mi - Verde Re.

Conclusioni

Musica e colore hanno un rapporto legato alle frequenze, questo aspetto è fondamentale perché ci ha permesso di dare dei colori alle note in maniera oggettiva. Le note che hanno frequenza al di fuori dell'ottava visibile, non possono, a mio avviso, seguire le stesse proporzioni che troviamo tra le differenti ottave, questo in virtù del fatto che non è possibile dimostrare la correttezza della correlazione. Va ricordato che la frequenza genera il colore all'interno di un limitato range, oltre quel limite non esiste colore. Pertanto, è più corretto cercare una regola numerica che governi l'alterazione del colore, in funzione di parametri come la chiarezza, che sia decisa secondo una valutazione visiva inerente alla qualità del colore percepito.

Come abbiamo visto, lavorare su un solo parametro per generare i colori delle frequenze non visibili risulta essere più intuitivo e ci permette di avere una certa continuità legata al colore di partenza, che altrimenti verrebbe del tutto snaturato. Se suonano una nota e poi una sua ottava, riconosco ancora la nota anche se con frequenza più alta o più bassa, il suono della nota non diventa irriconoscibile, allo stesso modo deve esserlo il colore.

La scelta di utilizzare la chiarezza al posto della saturazione e della luminosità ha i seguenti vantaggi:

1. Un solo parametro che mitiga il colore al variare delle ottave permette di avere una sequenza cromatica lineare; la variazione di tinta sarà sempre ottenuta utilizzando lo stesso metodo come succede per i salti di ottava delle note.
2. La chiarezza è un parametro che può aumentare o diminuire, così come le ottave musicali, mentre la saturazione può solo diminuire.

3. Come visto a pagina 10,11 e 12, la chiarezza è un parametro più facilmente percepibile dalla vista, la quale sa riconoscere se una superficie è più chiara o più scura, al di là del grado di illuminazione esterna. Pertanto, ritengo sia il parametro più corretto da utilizzare per rappresentare la variazione dell'ottava musicale, in quanto, anche in questo caso, l'orecchio sa riconoscere la nota anche se varia l'ottava.

Per quanto riguarda la scelta di non seguire la regola matematica delle ottave per definire il grado di innalzamento o abbassamento della chiarezza, come già scritto, è motivata dalla necessità di avere una scala graduata più attenuata, che permetta di riconoscere ancora la tinta, anche se più scura o più chiara.

Credo che in questo caso l'approccio suggerito da Goethe non sia del tutto errato. Partiamo da una base scientifica oggettiva laddove si può e poi utilizziamo la soggettività della percezione visiva per dare un senso di armonia al tutto. Non solo Goethe, ma anche Helmholtz abbracciava questa tesi; entrambi puntualizzano che il processo di identificazione del suono e delle immagini, avviene con modalità differenti da parte del cervello.

Dobbiamo anche affidarci ai nostri sensi nella valutazione di un principio di natura fisica come in questo caso. La matematica ci viene in aiuto dandoci dei modelli mentali della realtà su cui poter lavorare, ma la realtà la crea la mente umana attraverso processi riconoscitivi, legati alle funzioni sensoriali. Voler per forza far rientrare tutto all'interno di numeri e formule matematiche a volte può diventare una forzatura che ci allontana dalla realtà, che rimane e sarà sempre soggettiva. Spesso arrivare a spiegare un fenomeno in termini matematici, non vuol dire averlo compreso appieno, in quanto sarà sempre un modello approssimativo basato su ragioni dichiarate oggettive di una realtà soggettiva.

Le correlazioni tra musica e colore ottenute, aprono un grande spiraglio a diverse possibilità progettuali. Come abbiamo visto nei capitoli precedenti, devono essere ancora approfonditi i criteri di definizione riguardanti, per esempio, il timbro dello strumento, i

modi, il volume, ecc. Per ora si è potuto appurare che la correlazione tra note e colore inserite all'interno della scala fonocromatica ha una sua validità scientifica ed è stata valutata positivamente anche dai test effettuati sulle sequenze cromatiche. La proposta fatta per il gradiente di chiarezza da utilizzare per le altre ottave, per ora è da considerarsi come una proposta preliminare con possibili aggiustamenti migliorativi.

Per ciò che riguarda il timbro dello strumento, devono essere condotte più ricerche ed analisi approfondite di natura fisica prima di accettare una regola definitiva. L'ipotesi di non poter attribuire a tale parametro nessuna corrispondenza a livello fisico non deve comunque essere un limite nel cercare una nuova regola, l'importanza è che essa abbia una sua logica e possa funzionare anche se non derivante da un approccio puramente scientifico.

Innumerevoli sono poi i campi di utilizzo, dal campo ludico formativo all'esposizione museale, fino ad arrivare all'obiettivo forse più nobile, quello di aiutare le persone non udenti a percepire la musica tramite il colore. Ritengo quindi con questo elaborato, mediante la ricerca storica, i miei esperimenti e le mie riflessioni di aver creato un buon punto di partenza per sviluppare una teoria completa che permetta di ottenere delle rappresentazioni cromatiche che traducano la musica.

Bibliografia

Rudolf Steiner, L'essenza dei colori, Milano, Antropofisica, 2013 nona edizione

Michele Pascali, Acustica Ambienti interni - Propagazione ed Attenuazione del rumore fonoassorbimento, Palermo, Grafill, 2015 terza edizione

Quadrivium – numero, geometria, musica, astronomia, Milano, Sironi, Maggio 2104 Seconda edizione

Wieland Ziegenrucker, ABC della musica – manuale di teoria musicale, Milano, Rugginenti, Settembre 2012 quarta edizione

Johann Wolfgang Goethe, La teoria dei colori, Milano, Il Saggiatore, 1999 nuova edizione

Sitografia

<https://www.globusmag.it/levento/la-fisica-dei-colori/>

<https://www.morvillofalconebrindisi.edu.it/images/Articoli/File/dadlab/Il-colore.pdf>

https://www.unife.it/lettere/ filosofia/comunicazione/insegnamenti/storia_arte_c ontemporanea/materiale_didattico/a-a-2015-2016/Storia%20e%20teoria%20del%20colore.pdf

<https://www.gianlucatramontana.it/2014/01/27/teoria-del-colore-concetti-e-terminologia/>

<https://www.robadagrafici.com/video-lezione-motion-graphic-sulla-teoria-del-colore/>

[La chiarezza di un colore \(cioè la brillantezza relativa a quella del bianco\) | colore digitale blog \(boscarol.com\)](#)

[Il mistero della costanza della chiarezza | colore digitale blog \(boscarol.com\)](#)

<http://www.boscarol.com/blog/?p=17720>

<https://reccom.org/cose-il-suono-e-come-si-propaga-nellaria/>

<https://internationalacoustic.com/it/intensita-sonora-e-percezione-del-suono/>

<https://marvinacustica.it/caratteristiche-del-suono-quali-sono/>

[https://www.andreaminini.org/fisica/suono/onda-sonora#:~:text=Le%20onde%20sonore%20\(%20o%20onde,rispetto%20alla%20direzione%20di%20propagazione.](https://www.andreaminini.org/fisica/suono/onda-sonora#:~:text=Le%20onde%20sonore%20(%20o%20onde,rispetto%20alla%20direzione%20di%20propagazione.)

<https://www.chimica-online.it/download/lunghezza-onda.htm>

https://staticmy.zanichelli.it/catalogo/assets/9788808566683_04_CAP.pdf

<https://vitolavecchia.altervista.org/carattteristiche-e-differenza-tra-frequenza-e-lunghezza-donda-in-elettronica/>

https://fisicaondemusica.unimore.it/L'onda_sonora.html

https://www.liceomalpighi.it/didattica/mfilipucci/downloads/5AL-5BLOndeSuono_Cutnell_Zanichelli.pdf

<https://www.iltettodellenuvole.com/il-cerchio-di-itten/>

<https://elbsbusinessschool.it/cerchio-cromatico-nel-design/>

http://www.jazzitalia.net/lezioni/paologuiducci/pguid_32_lescale.asp

[Scale musicali: Cosa sono? Vediamo le principali scale musicali \(musyance.com\)](#)

<https://amantidellastoria.wordpress.com/2016/06/19/la-nascita-delle-note-musicali/>

[2.1.5 Le dottrine del colore di Aristotele | colore digitale blog \(boscarol.com\)](#)

<https://privatebanking.bnpparibas.it/content/bnlpb/it/it/youmanist/magazine/cultura/aristotele-anima-musica.html>

<https://www.listonegiordano.com/one/cultura/umbriaensemble-il-viaggio-artistico-musicale-diventa-terapia-dellanima/#:~:text=Nel%20suo%20scritto%20Sull'anima,%E2%80%9Ctende%20sempre%20verso%20qualcosa%E2%80%9D.>

<https://u-pad.unimc.it/handle/11393/43284>

<https://rivistanatura.com/la-sinestesia-intorno-a-noi-suoni-colori-ed-emozioni/>

<https://old.samyadeicolori.it/wp-content/uploads/2020/11/ESTRATTO-Lanima-e-la-magia-dei-colori.pdf>

<https://www.musicologica.it/le-note-sono-sette-come-colori-arcobaleno/>

<http://www.marcodebiasi.info/breve-storia-del-rapporto-suono-e-colore/>

<https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/george-field/>

<https://www.design-is-fine.org/post/90254124354/george-field-fields-chromatography-1885>

<http://www.boscarol.com/blog/?p=16590>

<https://www.ageofaudio.com/clavier-a-lumieres-uno-strumento-sinestetico/>

<https://www.dataisnature.com/?p=443>

<https://archivio.fototeca-gilardi.com/event/it/1/33821/ORGANO+A+COLORI+DI+A.+WALLACE+RIMINGTON>

<http://www.boscarol.com/blog/?p=16590>

<https://rockedintorni.forumfree.it/?t=32542221>

http://www.antoniodelamarina.com/www2/deeper/LuigiVeronesi_suonocolori.pdf

<https://www.appuntimania.com/scientifiche/fisica/teoria-delle-onde-elettromagne94.php>

<http://www.ondealfa.com/note-e-colori/>

<https://interiorissimi.it/che-cose-la-luce-e-cosa-sono-i-colori/>

www.suonoelettronico.com/frequenze_strumenti_musicali.htm

<https://comeaprire.com/definizioni/esplorare-la-saturazione-del-colore/>

<https://brixiaccordatorepianoforti.weebly.com/storiadelpianoforte.html>

<https://avareurgente.com/it/simbolismo-del-pianoforte-ce-un-significato-nello-strumento>

<https://www.thomann.de/blog/it/7-motivi-per-cui-il-sassofono-e-dannatamente-bello/>

<https://www.vincenzov.net/tutorial/elettronica-di-base/RetiAC/fourier.htm>

<https://it.quora.com/Quant%C3%A8-difficile-produrre-una-nota-con-la-tromba>

<https://www.musica-spirito.it/musica-scienza/geometria-e-armonici-del-suono/>

<https://designthesign.wordpress.com/2009/08/05/la-geometria-delle-forme-e-musica-solidificata/>

<http://www.jazzitalia.net/lezioni/sax/informazionigenerali.asp>

<https://francescodalpino.org/2022/04/03/iconografia-dei-tamburi-e-dominata-dal-simbolismo-del-viaggio-estatico-cioe-di-esperienze-che-implicano-una-rottura-di-livello-e-che-per-punto-di-partenza-hanno-un-centro-del-mondo/>

<https://unmondodimusicablog.wordpress.com/2020/03/02/834/>

<https://www.annaritaschioppa.com/2020/10/23/la-psicologia-delle-forme/>

<https://lenityglasses.wordpress.com/2018/01/04/uomo-vs-donna-2-motivi-per-cui-la-loro-vista-e-differente/>

<https://www.simonacolombi.com/il-cervello-delle-donne-e-quello-degli-uomini-sono-diversi/>

<https://www.elettrosmogsolutions.it/cimatrix-la-cimatica-per-tutti/>

Indice delle immagini

<https://cultura.biografieonline.it/perche-il-cielo-e-blu/prisma-2/>

https://www.researchgate.net/figure/I-colori-dello-spettro-partendo-a-sinistra-dal-violetto-con-lunghezza-donda-minore_fig6_289211455

www.cultorweb.com/Color/CA.html

<https://it.cleanpng.com/png-fsoojw/>

https://product.corel.com/help/CorelDRAW/540240626/Main/IT/Doc/wwhelp/wwhimpl/common/html/wwhelp.htm?context=CorelDRAW_Help&file=CorelDRAW-Understanding-color-models.html

https://it.wikipedia.org/wiki/Onda_sonora

<https://www.portalinoweb.com/i-decibel/>

<https://laboratoriomusica.wordpress.com/2020/06/06/teoria-musicale-classe-terza/>

<https://musicadiffusa.it/scala-di-do-maggiore/>

<https://www.diapasonblog.it/vocabolario/scale/>

<https://www.didatticarte.it/Blog/?p=6746>

<https://benedettasaglietti.com/2012/06/10/clavecin-oculaire-castel-clavier-a-lumieres-prometeo-scriabin/>

<https://papamigliore.it/strumenti-musicali-bambini/>

[21 Migliori Giochi da Tavolo per Bambini dai 4 ai 10/12 Anni \(conteageek.it\)](#)

[Amazon.com: Smartivity Mechanical Xylophone Music Machine STEM DIY Toys Educational & Construction based Activity Game for Kids 8 to 14 Gifts for Boys & Girls Learn Science & Engineering : Toys & Games](#)

[Riflessione sul COLORE | Galleria d'Arte Moderna Torino \(gamtorino.it\)](#)

[Your Brain on Art review: Fascinating guide needs a bit more science | New Scientist](#)