

Codici percettivi

Stimoli audio-video e le architetture del moto ondulatorio

Co-Direttori

KAROL KAKARENKO
Warsaw University of Thecnology

Justyna NIEWIADOMSKA-KAPLAR

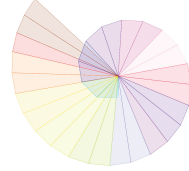
Comitato scientifico

Gianfranco BASTI
Pontificia Università Lateranense

Stefano CATURELLI
Conservatorio “Licio Refice” di Frosinone

Codici percettivi

Stimoli audio-video e le architetture del moto ondulatorio



Le regole dell'universo che crediamo di conoscere sono sepolte nel profondo dei nostri processi di percezione.

— GREGORY BATESON

La collana intreccia lo studio di due argomenti strettamente connessi tra loro: le modalità percettive del suono e della luce e le topologie con cui il suono e la luce si manifestano e vengono codificati. Percorrendo questo filo logico si creano nuove prospettive con cui si possono esaminare alcune problematiche dalle quali trae origine la teoria quantistica, che ha inteso inquadrare in uno schema concettuale coerente i risultati degli esperimenti sulla natura della luce.

Fisica ottica, acustica, fisiologia, topologia, analisi numerica si intrecciano per sviluppare tesi innovative e stimolanti sui codici percettivi.

Si ipotizza che la percezione dell'altezza del suono avvenga tramite la distinzione di sole sette frequenze e la percezione del colore abbia luogo mediante la distinzione di quattro stimoli cromatici (*magenta UV*, ciano, giallo, *magenta IR*) che formano per sintesi additiva tutte le sfumature dei colori. Infatti, l'arcobaleno e il prisma non trarrebbero origine dalla separazione del raggio luminoso in innumerevoli onde monocromatiche, ma dalla sintesi additiva prodotta dalle diverse sovrapposizioni delle sovradescritte quattro onde monocromatiche.

L'individuazione dei quattro elementi primari della visione del colore in *magenta UV*, ciano, giallo e *magenta IR* ha permesso di analizzare i deficit della percezione del colore come l'annullamento o l'abbassamento della percezione di questi quattro stimoli visivi. Questa tesi ha cambiato radicalmente la prospettiva con la quale fin'ora è stata affrontata la problematica della ridotta capacità discriminatoria tra i colori, impostata sulla presunzione

che gli elementi primari della visione del colore siano il rosso, il verde e il blu.

In questa collana si vuole proporre, inoltre, un metodo d'indagine sulle onde acustiche e luminose, interrogando direttamente gli organi che la natura ha generato per misurare i parametri: la coclea ed i fotorecettori. Il modo con cui questi organi decodificano i parametri di moto delle onde sonore e luminose ha convinto l'autrice a *riconoscere i dati percettivi come reali grandezze fondamentali della metrologia del moto ondulatorio e a proporli come tali*, da cui la scelta del termine *bio-metrologia*.

Si suggerisce quindi un modo insolito di misurare la velocità del suono e della luce, a partire dal riconoscimento della capacità della coclea di misurare i parametri del moto ondulatorio. Adottando questo sistema si ipotizza la disomogeneità fluttuante della velocità di propagazione delle onde herziane e, per analogia, delle onde elettromagnetiche. Queste misurazioni interpretano le ragioni della progressione a scatti dell'energia elettromagnetica, dell'esistenza delle velocità infra- e super-luminari e sono, inoltre, il punto di partenza nell'indagine sulla composizione e sulla topologia dei raggi luminosi.

Tre sono le forme di riferimento:

- la forma della chiocciola (coclea), descritta attraverso un sistema geometrico/matematico proprio della spirale logaritmica, svolge mediante la propria anatomia il compito di codificare i parametri delle onde acustiche. La decifrazione di questo codice permette di indagare sia i segreti del moto ondulatorio sia i sistemi percettivi che misurano le frequenze dei suoni e, per analogia, anche dei colori;
- la forma pentagonale (figura considerata sacra da Pitagora) organizza nello spazio la dualità del sistema percettivo che ordina le frequenze in successioni binarie e ternarie;
- la forma della doppia elica (configurazione spaziale del DNA), potrebbe esprimere anche il moto ondulatorio elettromagnetico e quindi anche il moto dei raggi luminosi.

Justyna Niewiadowska–Kaplar

**Meccanismi della visione dei colori
e discromatopsie**

Introduzione di
Giulio Bertagna





Aracne editrice

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

Copyright © MMXX
Gioacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale

www.gioacchinoonoratieditore.it
info@gioacchinoonoratieditore.it

via Vittorio Veneto, 20
00020 Canterano (RM)
(06) 45551463

ISBN 978-88-255-2882-4

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: aprile 2020

Indice

- 9 *Glossario*
- 11 *Introduzione*
di Giulio Bertagna
- 15 *Abstract*
- 23 *Capitolo I*
Effettive sensibilità dei coni e codificazione dell'informazione cromatica?
1.1. Considerazioni preliminari, 23 – 1.2. Fluttuazione delle velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche e selezione di sole 4 lunghezze del visibile: 384 nm, 432 nm, 576 nm e 768 nm, 25 – 1.3. Quattro onde luminose monocromatiche e tre colori fondamentali. Omologazione dei multipli di frequenza del sistema percettivo, 27 – 1.4. Corrispondenza tra lunghezza d'onda e colori, 29 – 1.5. Sensibilità effettiva dei con L (≈ 576 nm): rosso o giallo?, 30 – 1.6. Sensibilità effettive dei coni: misure letterali o statistiche?, 33
- 37 *Capitolo II*
Meccanismi della visione del colore
2.1. Sensibilità MCMY dei fotorecettori e composizione duale di un'onda luminosa, 37 – 2.2. Dualità delle onde luminose e meccanismi della corretta e difettosa visione del colore. Valore dei rilievi spettrofotometrici, 39 – 2.3. Rilievi della sensibilità dei bastoncelli e riflessione sulla valenza statistica delle misurazioni spettrofotometriche, 57
- 63 *Capitolo III*
Tetracromia
3.1. Tetracromia: sensibilità dei fotorecettori umani a quattro onde monocromatiche, 63 – 3.2. Tetracromia e repliche dei geni per la visione del magenta: uno spunto di riflessione, 63 – 3.3. Sensibilità al vicino ultravioletto – *magenta corto*, 64 – 3.4. Da dove nasce la confusione tra tricromia e tetracromia, 66

- 67 Capitolo IV
 Nuove terminologie per indicare le discromatopsie
- 75 Capitolo V
 Analisi delle discromatopsie
 5.1. Desaturazione dei colori nei deficit cromatici, 75 – 5.2. Metodo di analisi
 delle discromatopsie, 76
- 79 Capitolo VI
 Tavole per analisi delle discromatopsie
 6.1. Anopsie, 79 – 6.2. Anomalie, 108
- 117 Capitolo VII
 Tabelle comparative
- 125 Capitolo VIII
 Test PGXP per individuare le dicromatopsie
- 143 Capitolo IX
 *Brevi riflessioni sulla tradizionale suddivisione delle discromatopsie in
 protanopie, deuteranopie e tritanopie*
 9.1. Protanopia, 143 – 9.2. Deuteranopia, 147 – 9.3. Tritanopia, 149
- 149 *Ringraziamenti*
- 149 *Bibliografia*

Glossario

acromatopsia: in questo volume, cecità a tutte quattro onde monocromatiche a cui sono sensibili i quattro coni umani (*magenta UV* 384 nm, ciano 432 nm, giallo 576 nm e *magenta IR* 768 nm).

bastoncelli: in questo volume, fotorecettori sensibili a tutte quattro onde monocromatiche percepibili dalle cellule fotosensibili della retina umana: *magenta UV* 384 nm, ciano 432 nm, giallo 576 nm e *magenta IR* 768 nm), capaci di codificare le informazioni cromatiche in bianco, nero e grigio. Operano in tutte condizioni di visibilità (visione fotopica e scotopica).

coni: in questo volume, quattro tipi di fotorecettori umani (M, S, L, M) responsabili della visione a colori, ciascuno sensibile a una delle seguenti quattro onde monocromatiche: *magenta UV* 384 nm, ciano 432 nm, giallo 576 nm e *magenta IR* 768 nm.

cromato-anomalia: in questo volume, deficit della percezione di una, due, tre o quattro tra quattro onde monocromatiche a cui sono sensibili i quattro coni umani (*magenta UV* 384 nm, ciano 432 nm, giallo 576 nm e *magenta IR* 768 nm).

cromato-anopsia: in questo volume, cecità a uno, due, tre tra quattro onde monocromatiche a cui sono sensibili i quattro coni umani (*magenta UV* 384 nm, ciano 432 nm, giallo 576 nm e *magenta IR* 768 nm).

discromatopsia (cromatodisopsia) [comp. di dis-2, cromato- e -opsia]: in oculistica, ogni anomalia del senso cromatico.

glàuco [dal gr. γλαυκός «brillante, lucente»]: primo elemento di parole composte della terminologia scientifica dei quali indica colore azzurro in varie tonalità.

glauco–anomalìa: in questo volume, deficit della percezione dell'onda monocromatica *ciano* 432 nm alla quale sono sensibili i coni S.

glauco–anopsia: in questo volume, cecità all'onda monocromatica *ciano* 432 nm alla quale sono sensibili i coni S.

-opsia [der. del gr. ὄψις «vista»]: secondo elemento di parole composte, formate modernamente nel linguaggio medico, riferite a disturbi della vista.

porfiro [dal gr. πορφύρα «porpora»]: primo elemento di nomi composti della moderna terminologia scientifica, che significa «(color) porpora».

porfiro IR–anomalìa: in questo volume, deficit della percezione dell'onda monocromatica *magenta IR* 768 nm alla quale sono sensibili i coni M.

porfiro IR–anopsia: in questo volume, cecità all'onda monocromatica *magenta IR* 768 nm alla quale sono sensibili i coni M.

porfiro UV–anomalìa: in questo volume, deficit della percezione dell'onda monocromatica *magenta UV* 384 nm alla quale sono sensibili i coni M.

porfiro UV–anopsia: in questo volume, cecità all'onda monocromatica *magenta UV* 384 nm alla quale sono sensibili i coni M.

xanto [dal gr. ξανθός «giallo»]: primo elemento di nomi composti della moderna terminologia scientifica, nei quali indica colorazione gialla.

xanto–anomalìa: in questo volume, deficit della percezione dell'onda monocromatica *giallo* 576 nm alla quale sono sensibili i coni L.

xanto–anopsia: in questo volume, cecità all'onda monocromatica *giallo* 576 nm alla quale sono sensibili i coni L.

La formazione professionale

Ogni professione, arte, mestiere, sotto l'aspetto formativo, parte da basi consolidate ed esperienze pluriennali, ricerca e testimonianze. C'è abbondanza di testi di riferimento e dove manca il cartaceo, c'è Internet, da dove si possono recuperare esiti di ricerca e studi in atto a livello universitario internazionale.

Utile è anche l'esperienza di "cantiere"; virgolettato perché s'intende ogni luogo di esperienza pratica finalizzata a un risultato spendibile e attuabile in ogni campo delle professioni, ivi compresa la progettazione e non necessariamente un cantiere edile o navale.

In quanto progettista, oriento questa sintesi sul progetto, sottolineandone l'importanza. Si consideri, infatti, che, escludendo l'ambiente naturale, tutto ciò che utilizziamo quotidianamente, tutto ciò che possiamo osservare intorno a noi (specie nelle città), il nostro stesso abbigliamento è frutto di un progetto. Per questo conoscere la "materia" sulla quale si va a progettare è fondamentale.

Nessuno si fiderebbe di un medico chirurgo che dichiarasse di aver letto solo qualche vecchio libro di medicina del secolo scorso e di aver operato fino a oggi secondo sue sensibilità e vocazione.

Eppure nel campo del colore, questo succede quasi sempre.

Quando si progetta il colore

Appunto, relativamente al colore, si assiste spesso ad approcci che lo considerano solo una scelta finale, effettuata secondo tradizioni, credenze,

* Designer e color designer, ricercatore e docente in colore e percezione cognitiva.

spesso pregiudizi e con un “buon gusto” che, presuntuosamente, sembra risolvere tutto. Questo sempre che non si vada sul bianco a tutto campo, che accontenta tutti al pari della pittura grigia sul cemento di un viadotto autostradale in manutenzione.

Spesso si considera il colore come un di più, come un valore estetico, ignorandone le valenze biologiche e le induzioni neurofisiologiche. Più che ignorate, non sono conosciute e questo a causa di un mancato bridge tra le diverse scienze e discipline. Se è vero che vediamo e distinguiamo un oggetto dall'altro o le componenti di uno stesso oggetto grazie ai colori, alle forme e ai chiari-scuri, non si comprende perché le magnifiche sensazioni che il nostro cervello crea in base alla lunghezza d'onda della luce (colori), siano frequentemente così svilite, sottovalutate, se non ignorate dal progetto.

Viviamo di emozioni

Un mondo del progetto che in molti ambiti, soprattutto commerciali, cerca di provocare emozione, ma ancora fa fatica a rendersi conto che ogni oggetto, contesto artificiale, configurazione spaziale muovono sempre e comunque le emozioni dell'utente. L'essere umano vive di emozioni, in ogni momento.

I colori sono sensazioni cerebrali e queste sensazioni, secondo il nostro modo di ricordarle, sono quasi infinite. Non ci crederete, ma molti studenti universitari e anche affermati architetti, rimangono spesso increduli quando spiego loro che il mondo intorno a noi, non solo è incolore, ma anche assolutamente buio. Il concetto così naturale per noi di “luce” è solo una sensazione, un meraviglioso strumento che la natura ci ha messo a disposizione per sopravvivere, così come le sensazioni cromatiche, che alcuni neuroni del nostro cervello “applicano” a un certo oggetto a seconda della radiazione elettromagnetica che emette se illuminato.

Nelle accademie purtroppo non sono ancora strutturati i necessari approfondimenti di fisica, neurofisiologia e psicofisica dedicati ai futuri designer, per comprendere a fondo i meccanismi della visione, della visione cromatica e della percezione cognitiva (interpretazione di uno stimolo e risposte comportamentali conseguenti). Sarebbero indispensabili per progettare il colore, ma non solo.

Il daltonico e le interfacce; il vero problema

Il daltonico è vissuto inconsapevole e senza “danno” fino alle soglie del 1800, quando la società industriale ha sconvolto i nostri sistemi di vita introducendo le interfacce.

Oggi il daltonico, che all’interno dell’ambiente naturale gode come noi della sua bellezza e non corre pericoli, si trova emarginato nella vita metropolitana dei segni, dei pittogrammi, degli schemi e organigrammi, delle rappresentazioni grafiche orientative, dei cartelli, dei display.

Il famigerato semaforo, interfaccia emblematica dei problemi daltonici, non è affatto un problema. Lo sono invece le normative istituzionali sui colori–funzione e le necessità di confronto con altri che chiudono loro l’accesso a certe professioni e che nelle scuole primarie ne fanno dei “diversi”.

Il daltonico e la ricerca

I daltonici sono una minoranza e questo provoca un certo disinteresse della ricerca medica, anche perché la discromatopsia genetica non è una patologia. Si interessano a loro alcune aziende commerciali che in loro trovano una possibile nicchia di mercato di un certo interesse. Ma queste aziende e interface designer, sono spesso piuttosto ignoranti sul tema della visione e del colore e anche non lo fossero, non potrebbero fare altro che produrre palliativi, non soluzioni.

L’aiuto che ci danno i daltonici

Quello che ho scoperto studiando il daltonismo, è che, analizzando diverse interfacce, con l’intento di renderle fruibili anche dai daltonici, in molte di esse ho rilevato gravi limiti percettivi, risultando, in sintesi, poco chiare anche per i non daltonici. È infatti diffuso il brutto vizio di creare interfacce utilizzando il colore da solo e fondando spesso le parti più sensibili (significati–funzioni opposte) sul rosso e sul verde. Ora, essendo la maggior parte dei daltonici in confusione proprio su questi due colori, è facile comprendere che con i codici cromatici di interfaccia si è partiti da “ignoranti”, dunque molto male.

Cosa si può fare per cambiare

Cambiare le cose ora è cosa lunga e complicata perché le interfacce sono ormai globalizzate.

Ma qualcosa si può sempre fare. Avete presente il classico cruscotto di un'auto? Le così dette spie luminose sono di diversi colori, ma sono anche di fattezze diverse. Dunque pittogrammi luminosi dove il colore è importante, ma è supportato da simboli differenti.

Tecnologie sempre più sofisticate invaderanno la nostra quotidianità di interfacce ideate per controllarle e governarle; considerare le discromatopsie come un filtro-guida percettivo potrà sicuramente renderle più efficaci e intuitive per tutti oltre ad andare incontro alle esigenze dei daltonici. Importante però sarà dare nuovi spazi a nuclei di ricerca interdisciplinari. Le scienze, per produrre migliore qualità della vita, devono, in molti casi, riuscire ad incontrarsi e lavorare insieme su temi specifici. Uno di questi è il daltonismo.

Ora che “lo sappiamo”, che si fa?

Ben venga dunque questo studio di Justyna Niewiadomska-Kaplar che può rendere più efficace e puntuale il ristretto sistema dei test diagnostici per le discromatopsie, creare i presupposti per un allargamento degli approcci teorici sulla visione cromatica e soprattutto costituire uno dei tanti e mancanti bridge tra ambiti specialistici differenti. In questo libro, infatti, viene proposto un nuovo approccio ai meccanismi della visione dei colori e, di conseguenza, nuovi presupposti per comprendere più a fondo e più puntualmente i deficit della visione cromatica. Porrei il suo contributo all'interno delle attività di ricerca applicata, ovvero finalizzata a un determinato risultato utilizzabile nella pratica. Un contributo posto all'attenzione della ricerca pura, ma soprattutto offerto ai progettisti. Un collegamento con il mondo del progetto è indispensabile, affinché esso riesca a creare nuovi approcci con nuove attenzioni e, come già scritto, non solo per i daltonici, ma, grazie a loro, per tutti noi.

Abstract

1. La fluttuazione della velocità della luce, ipotizzata nel I volume di questa collana, seleziona nell'ambito del visibile solo 4 onde che si propagano con la medesima velocità: 764 nm, 576 nm e 432 nm e 384 nm.

In base alle considerazioni sulla fluttuazione della velocità della propagazione del moto ondulatorio si deduce che lo spettro del visibile è discontinuo perché le frequenze del visibile sono solo quattro.

432 THz
(768 nm)
magenta
lungo

576 THz
(576 nm)
giallo

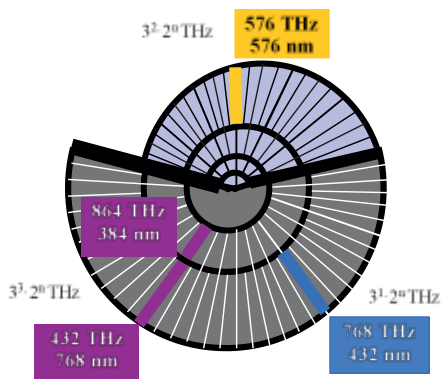
768 THz
(432 nm)
ciano

864 THz
(384 nm)
magenta
corto

2. Il multiplo di frequenza luminosa viene considerato omologo, così come avviene per la percezione dei suoni.

Le quattro onde luminose vengono percepite come tre colori fondamentali: **ciano** 432 nm, **giallo** 576 nm e **magenta corto** 384 nm e **magenta lungo** 768 nm (768 nm essendo il multiplo di 384 nm viene percepito come lo stesso colore).

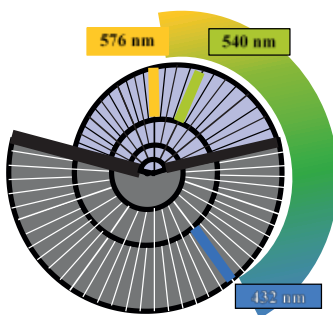
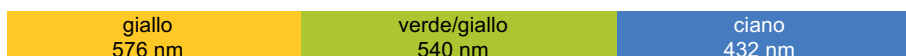
Nei sistemi percettivi che riguardano la distinzione dei parametri del moto ondulatorio i multipli di frequenza vengono considerati omologhi. Anche il sistema percettivo del suono omologa i multipli di frequenza (le ottave) chiamandoli con lo stesso nome. Per esempio i suoni con 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 Hz sono tutti denominati Do. Per analogia in questo volume si distingue come il magenta corto l'onda luminosa di 384 nm e come il magenta lungo l'onda luminosa di lunghezza doppia, uguale 768nm.



3. Il picco della sensibilità dei coni M a 540 nm viene interpretato come la media tra onda rossa (circa 672 nm), verde (circa 504 nm) e onda indaco (circa 408 nm).

Il picco della sensibilità dei coni L a 576 nm viene interpretato come la media tra tre onde monocromatiche: gialla 576 nm, *magenta IR* 768 nm e *magenta UV* 384 nm.

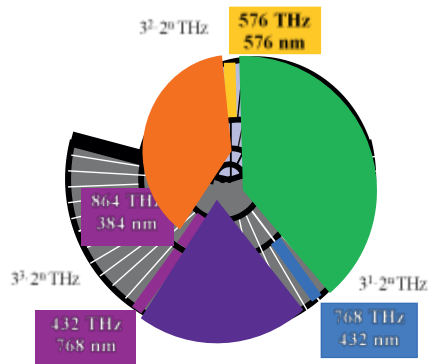
È stata effettuata la misurazione della sensibilità cromatica dei tre fotorecettori dell'occhio umano dalla quale risulta la massima sensibilità alle seguenti lunghezze delle onde luminose: circa 570 nm, 540 nm e 430 nm. Queste lunghezze d'onda corrispondono ai colori: giallo, giallo/verde e ciano.



Si afferma che i tre fotorecettori umani (L, M, S) sono sensibili a 4 onde luminose (ciano 432 nm, giallo 576 nm e magenta 384 nm e 768 nm) ed elaborano tre stimoli.

magenta 432 THz 768 nm	giallo 576 THz 576 nm	ciano 768 THz 432 nm	magenta 864 THz 384 nm
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	------------------------------

Questi valori di sensibilità dei fotorecettori permettono la percezione di tutte le zone cromatiche: rossa verde e indaco.

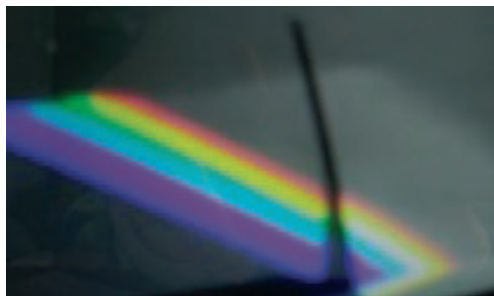


4. L'osservazione dei meccanismi della sintesi additiva ha generato l'ipotesi che un'onda luminosa si compone da due onde bicromatiche eterogenee.

La presenza del magenta all'inizio e alla fine del visibile trova conferma nella scomposizione della luce. Le due immagini sottostanti ne danno prova.

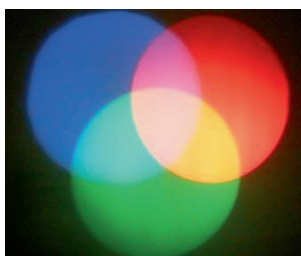


Fonte <https://www.youtube.com/watch?v=toV631ezbrl>.



Fonte <https://www.youtube.com/watch?v=toV631ezbrI>.

Nella foto sottostante si osservano due fenomeni: che la sovrapposizione delle luci tra rossa/verde, verde/indaco e indaco/rossa produce tre colori luminosi: magenta, ciano e giallo e che la sovrapposizione delle tre luci: rossa/verde/indaco produce il bianco.



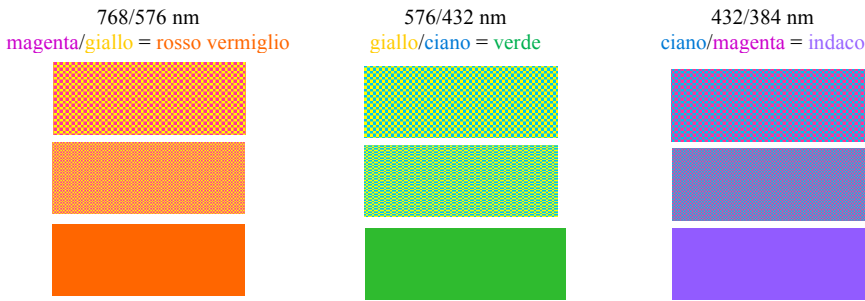
La produzione del colore magenta chiaro dalla sovrapposizione della luce indaco e rosso è possibile se onda indaco è composta da ciano e magenta e la luce rossa è composta da magenta e giallo. La somma di queste 4 onde monocromatiche produce magenta e bianco quindi magenta chiaro. Analogamente avviene per la produzione del ciano chiaro dalla sovrapposizione della luce indaco e verde e per la produzione del giallo chiaro tramite la sovrapposizione del verde e rosso.



5. Sintesi additiva genera il contenuto cromatico delle onde emesse dai corpi incandescenti, dal prisma e dall'arcobaleno.

Nelle onde eterogenee bicromatiche non si distinguono gli elementi costitutivi primari -e cioè il magenta, il giallo e il ciano- perché la percezione dei colori della luce si fonda sui meccanismi della sintesi additiva, la quale costituisce (secondo chi scrive) l'unica ragione della cromogenesi. Infatti, tramite le *sintesi additive* di sole quattro onde luminose si ottengono tutte le sfumature dei colori come le seguenti tabelle descrivono.

a. La sintesi di 2 singole onde monocromatiche crea **rosso vermiglio**, **verde** e **indaco**.

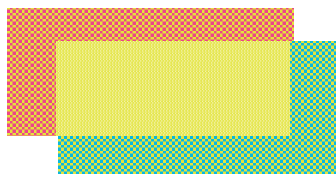


b. La sintesi di 3 diverse onde luminose bicromatiche crea bianco.

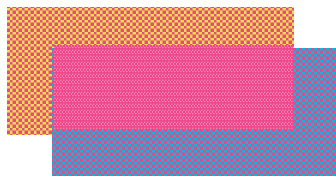


c. La sintesi di 2 diverse onde luminose bicromatiche crea colori chiari: magenta + bianco, giallo + bianco e ciano + bianco.

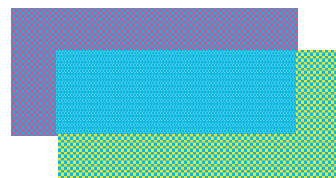
Nella sovrapposizione di un'onda bicromatica rosso vermiglio con un'onda bicromatica verde viene percepita la componente monocromatica maggioritaria gialla mista al bianco.



Nella sovrapposizione di un'onda bicromatica rossa con un'onda bicromatica indaco viene percepita componente monocromatica maggioritaria magenta mista al bianco.

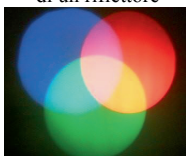


Nella sovrapposizione di un'onda bicromatica indaco con un'onda bicromatica verde viene percepita componente monocromatica maggioritaria ciano mista al bianco.



Secondo l'interpretazione dei meccanismi della sintesi additiva proposta, i colori dei corpi incandescenti del prisma e dell'arcobaleno non sono creati tramite innumerevoli onde monocromatiche ma tramite la sintesi additiva in cui si sovrappongono 3 o 2 fasci di onde bicromatiche. I colori visibili in una stella, nel prisma, nell'arcobaleno o nei tre fasci luminosi di un riflettore fanno quindi parte dello stesso fenomeno percettivo: la sintesi additiva. Cambia solo la geometria della sovrapposizione dei fasci di luce come lo illustra la tabella successiva.

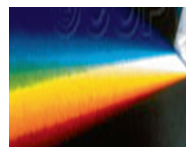
cerchi sovrapposti lateralmente nei fasci di un riflettore



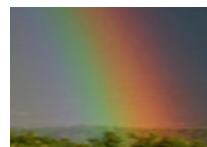
cerchi sovrapposti a partire dal centro in una stella



coni sovrapposti in un prisma



archi sovrapposti in un arcobaleno



sovrapposizioni delle 3 onde bicromatiche