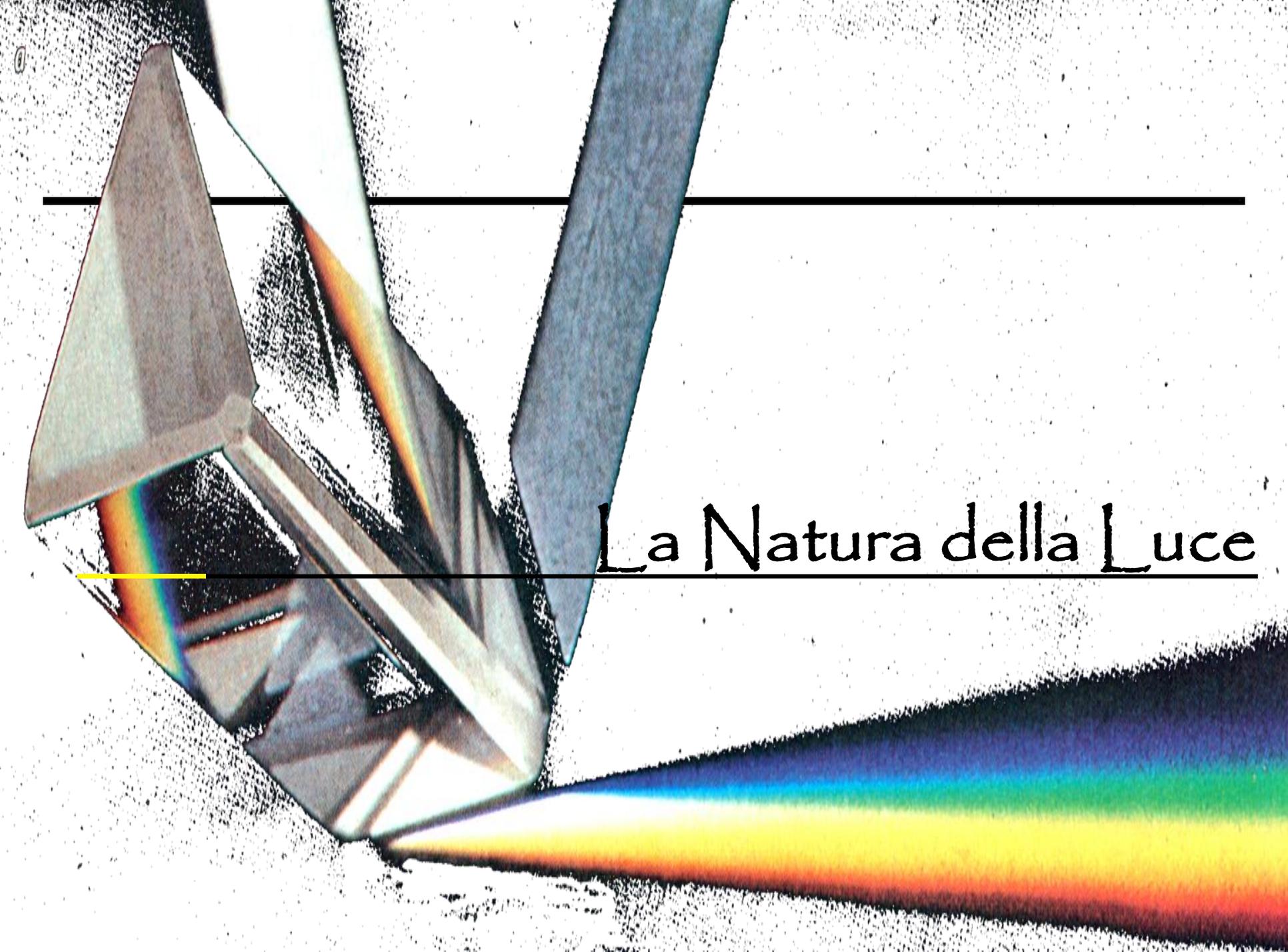


Dalla psicofisica del **Colore** alla prevenzione

- Dott. Simone Santacatterina
Laureato in Ottica e Optometria

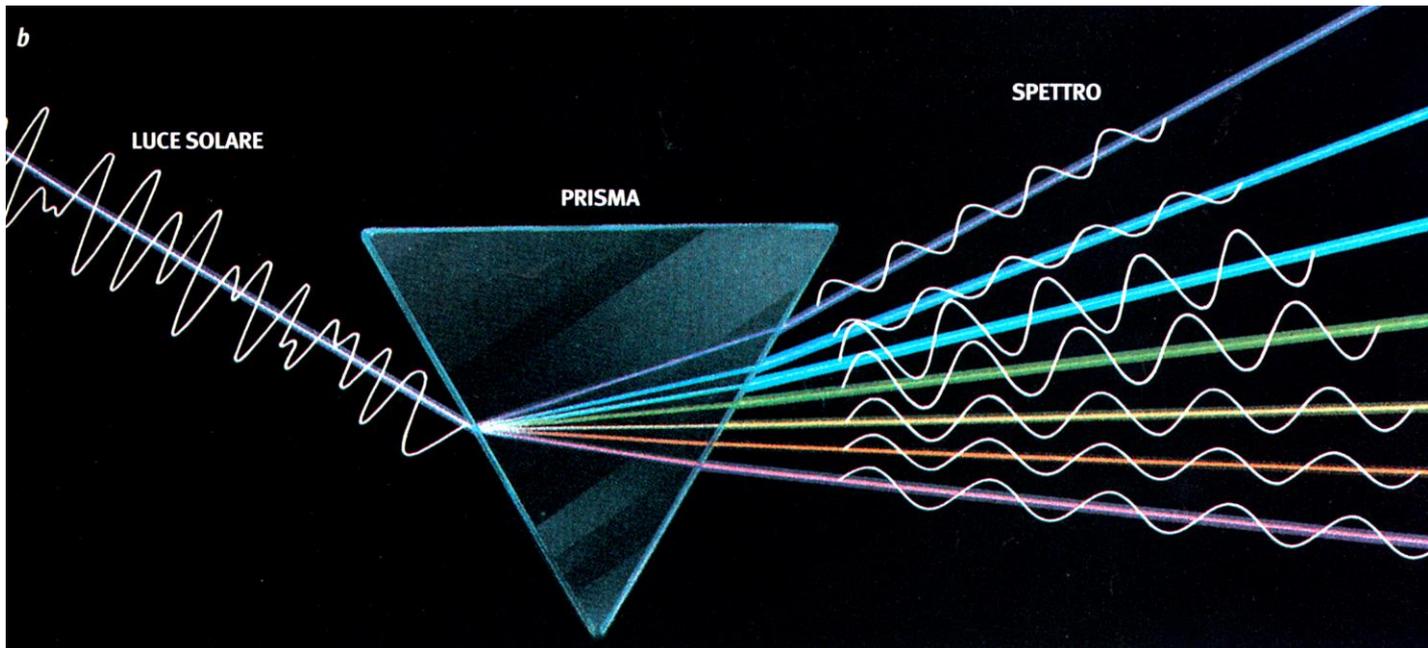




La Natura della Luce

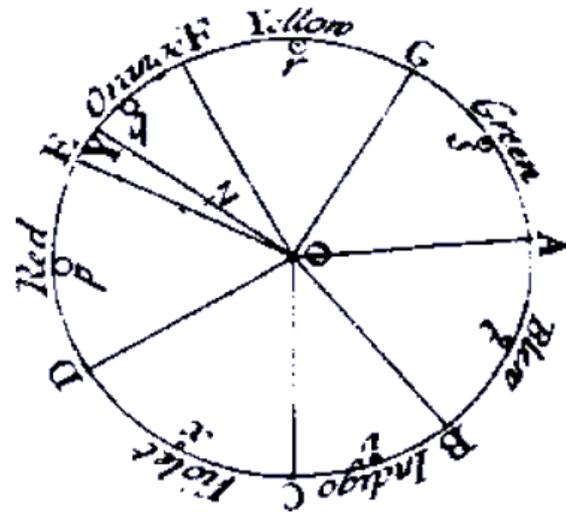
La Classificazione del Colore

- Newton fu il primo a dividere la luce bianca nelle sue componenti spettrali



La Classificazione del Colore

- Si è cercato inoltre di classificare e rappresentare i vari colori
- Newton presenta per primo un sistema di classificazione che consisteva in un cerchio così rappresentato

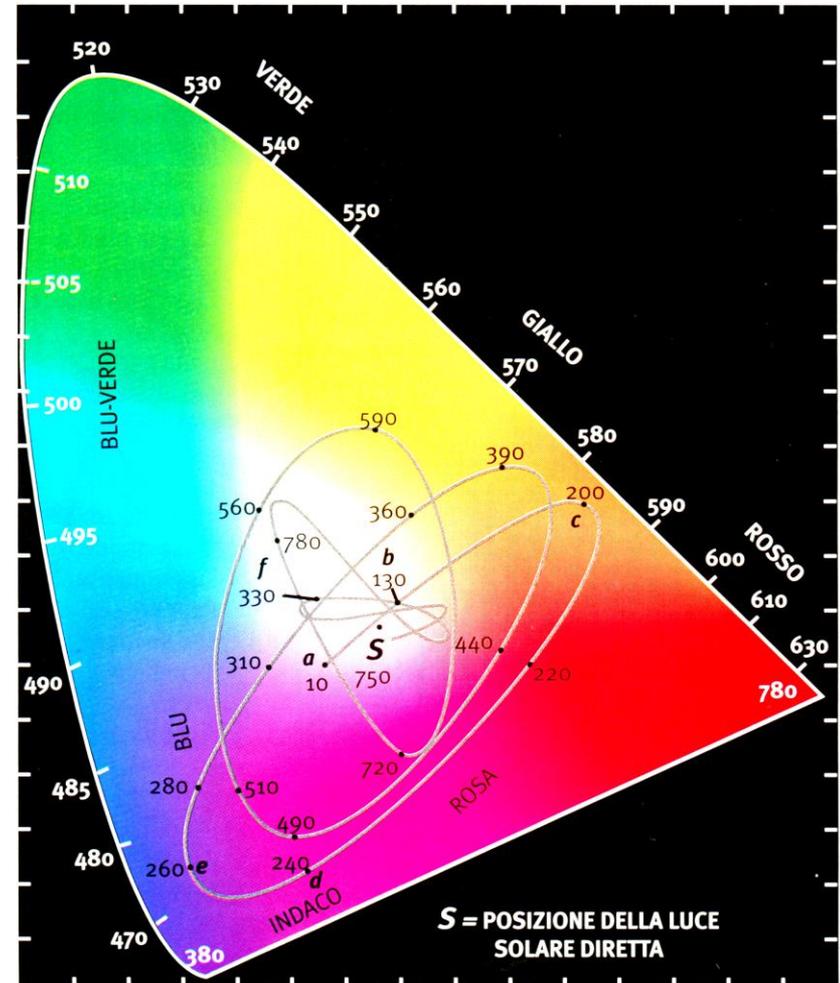


La Classificazione del Colore

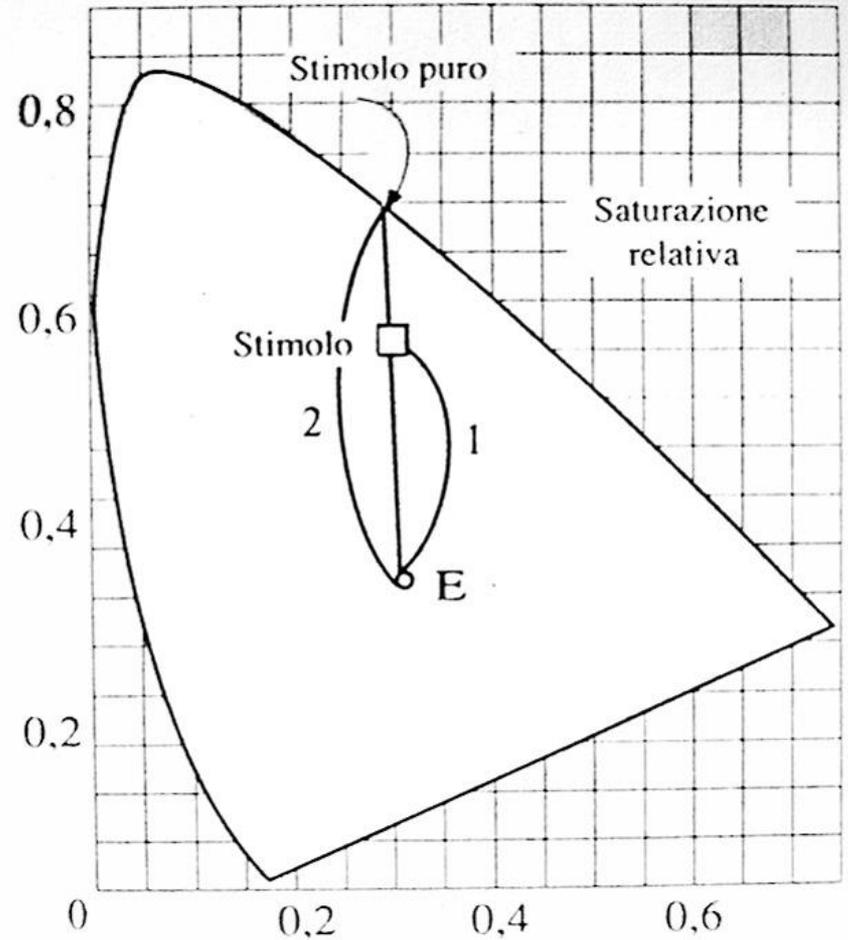
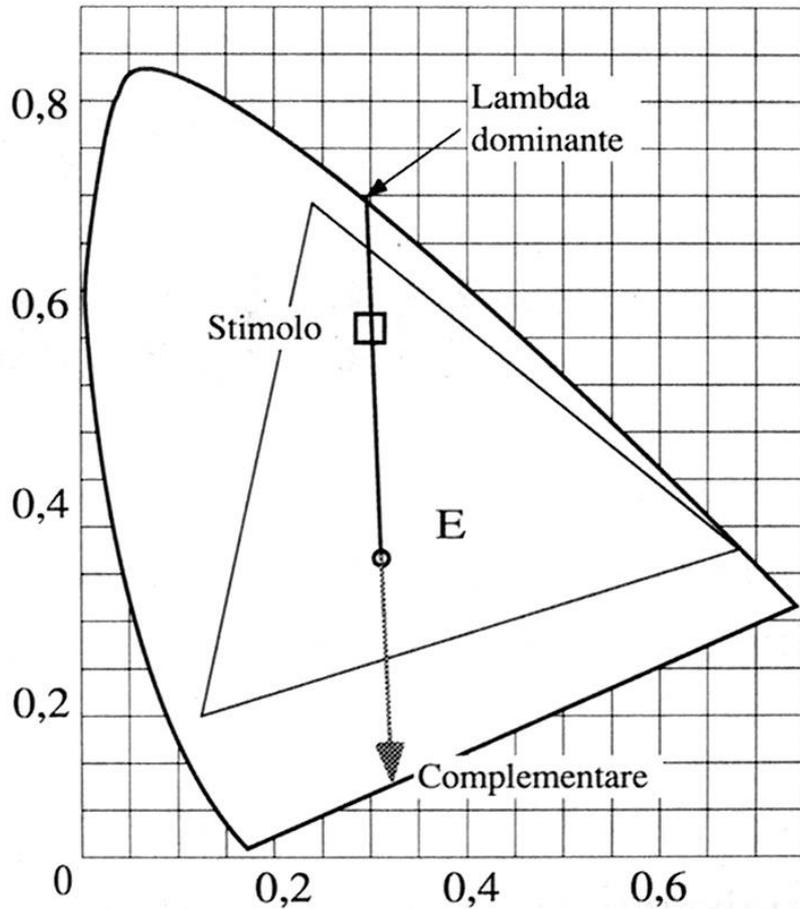
C.I.E. 1931

Commission Internationale de Eclairage

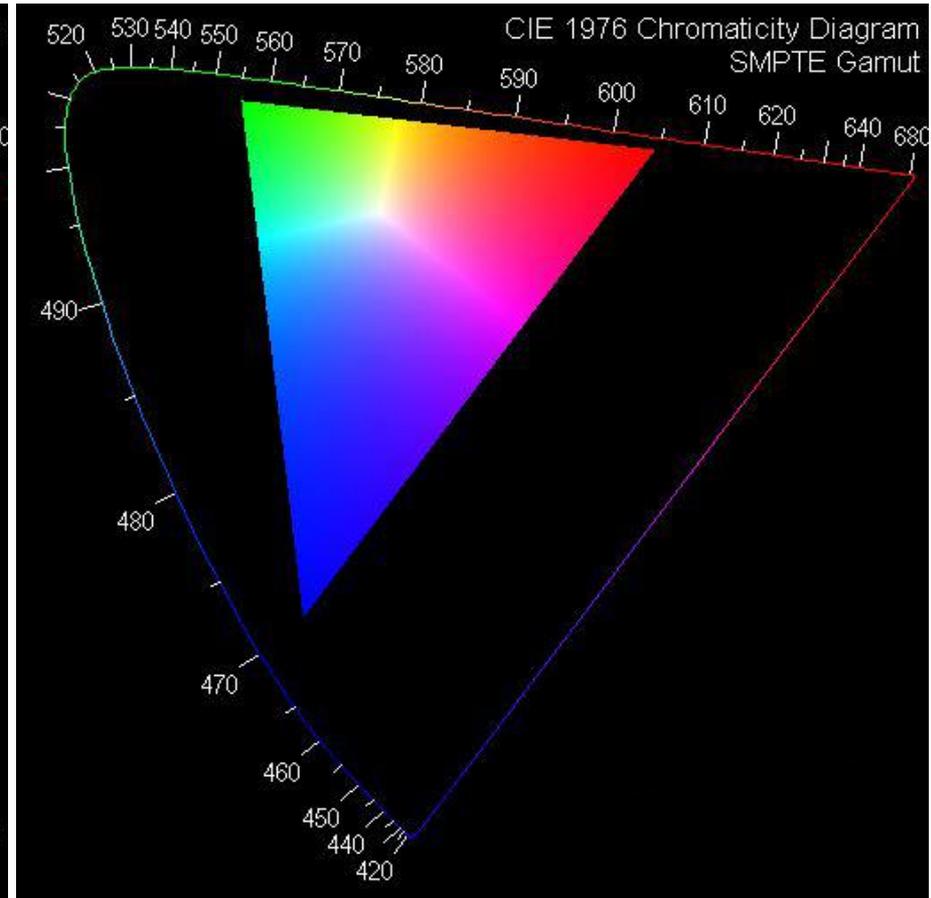
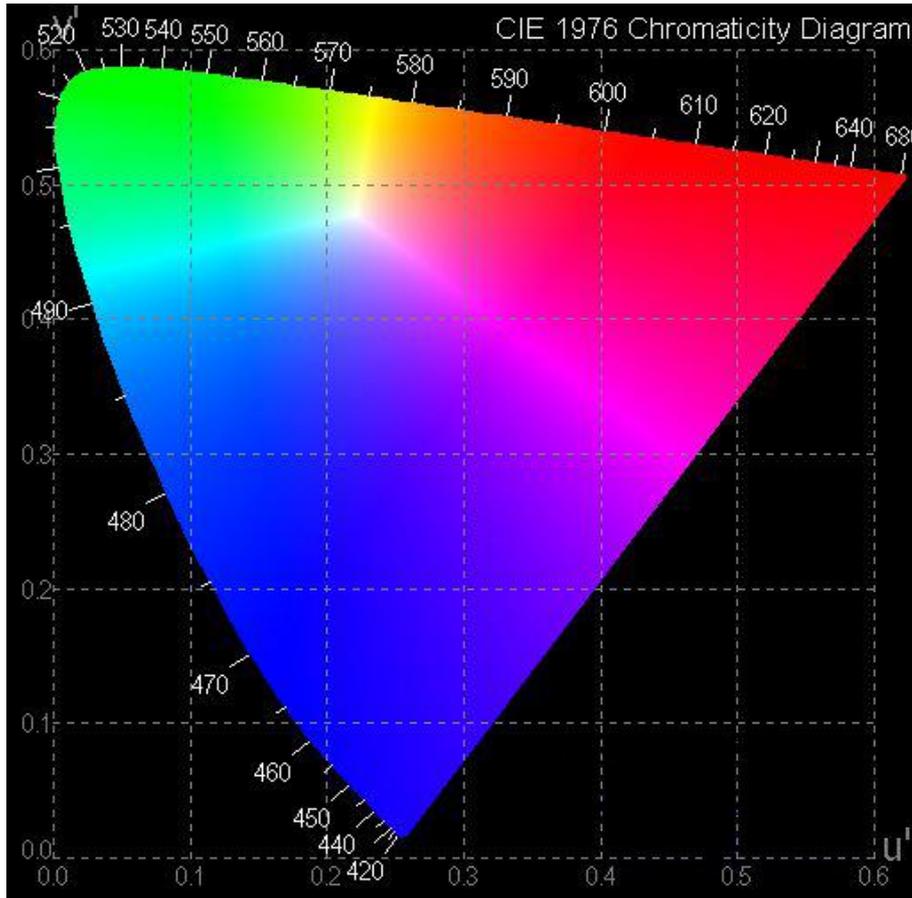
- È il sistema utilizzato per classificare il colore e si basa sulla teoria tricromatica.
- Sul bordo della curva si rappresentano tutti i colori puri, spettrali e non



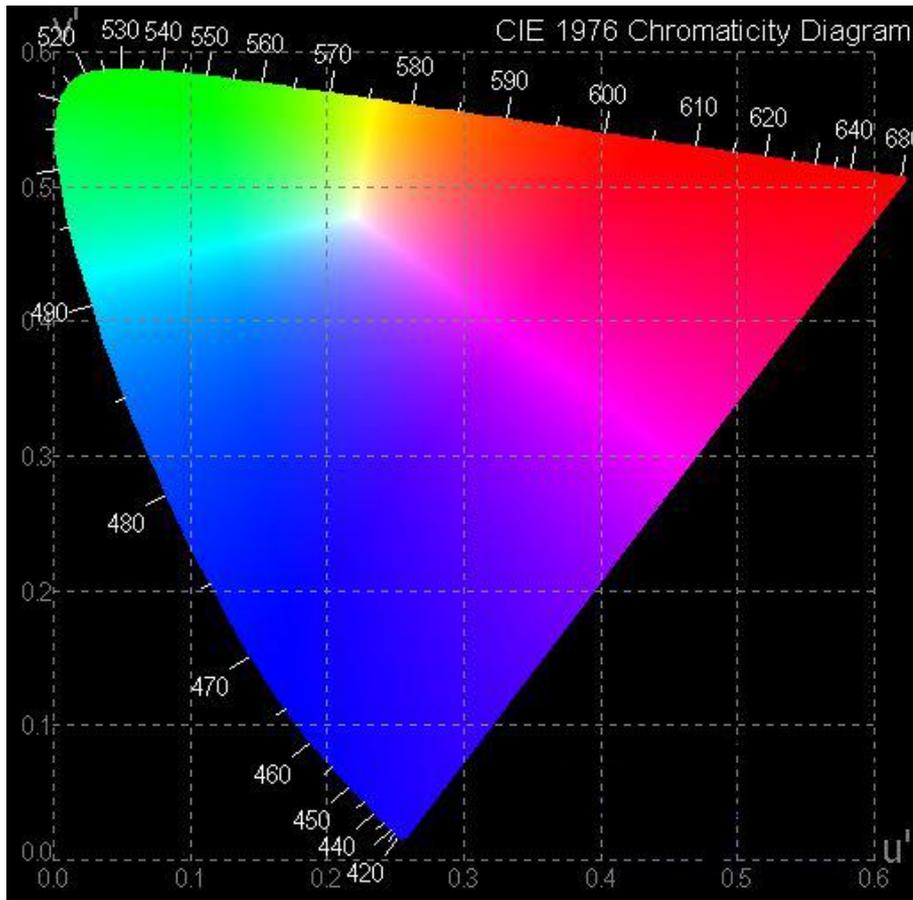
La Classificazione del Colore



CIE 1976



CIE 1976

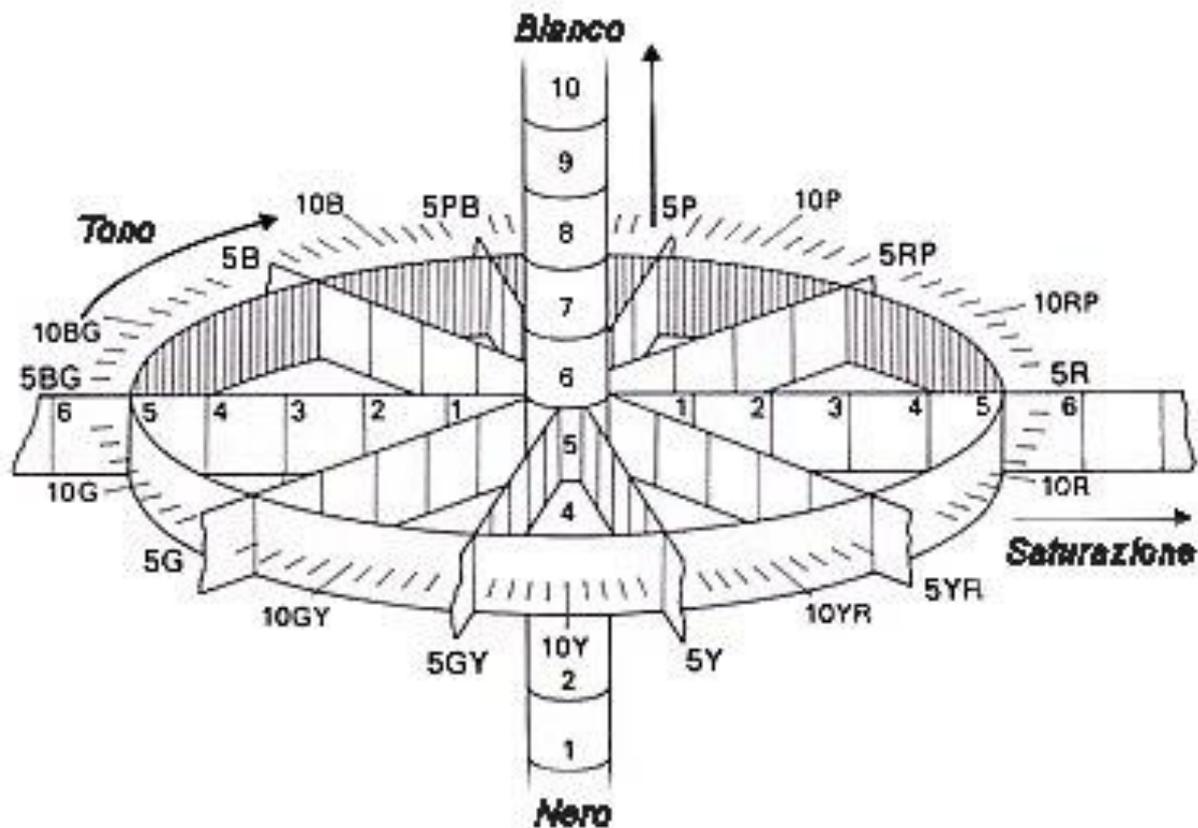


Perché noi utilizzeremo questo diagramma di cromaticità?

Il CIE 1976 o CIE LUV è una trasformazione semplice del CIE 1931 che ha l'obiettivo di poter essere più uniforme a livello percettivo

La Classificazione del Colore

- Classificazione cromatica di Munsell

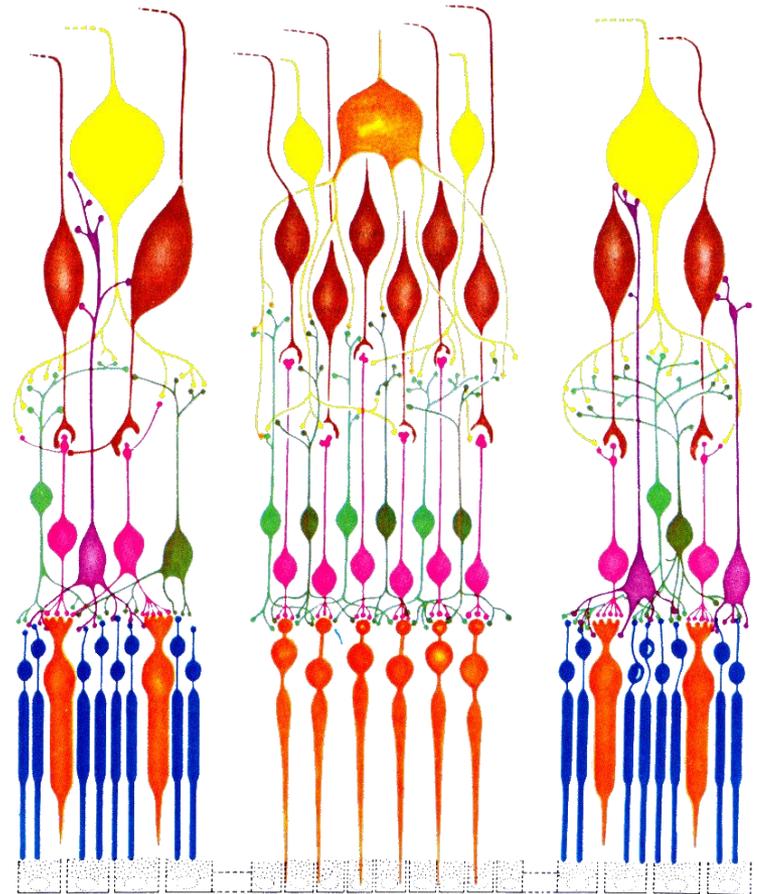


La Classificazione del Colore

- Diversa la situazione nel caso dei miscugli tra pigmenti
- Un pigmento appare di un determinato colore perché assorbe delle onde luminose e ne riflette delle altre corrispondenti al colore che noi percepiamo
- Così la sintesi sottrattiva è la sovrapposizione di più pigmenti che vengono a sottrarre diverse onde luminose

La Retina

- Struttura della retina
- Coni e bastoncelli
- Cellule bipolari e ganglionari



A vibrant, multi-colored fish, possibly a species of damselfish, is the central focus. It has a body that transitions from yellow at the bottom to orange at the top, with numerous bright blue spots scattered across its scales. The fish is shown in profile, swimming towards the left. The background is a soft, out-of-focus mix of light blue and white, suggesting an underwater environment. The title text is overlaid on the lower half of the image.

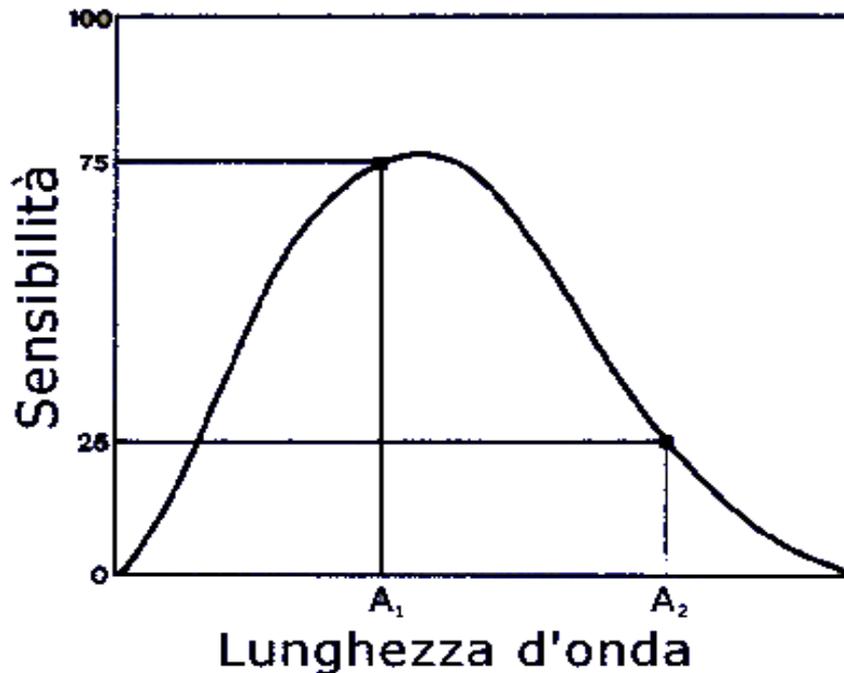
Teorie Sulla Percezione Del Colore

Percezione cromatica

- Física & Biología
- Sistema visivo e sistema uditivo a confronto
- La nostra percezione cromatica deriva da un compromesso

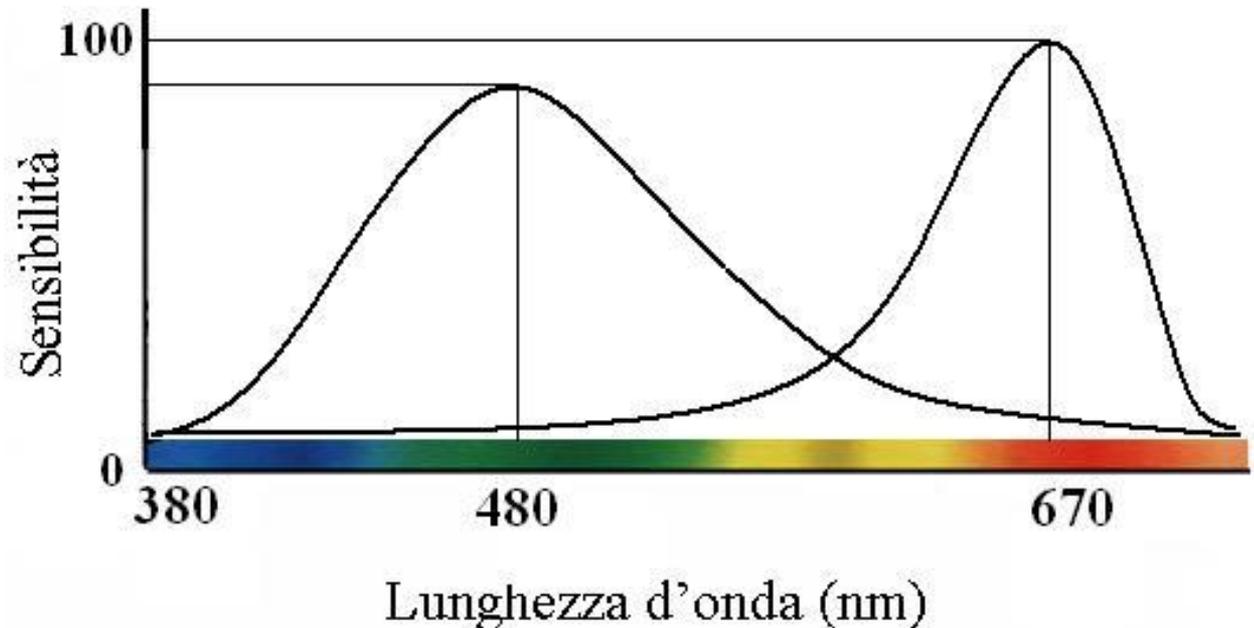
Percezione cromatica

- Quanti diversi tipi di recettori abbiamo?
 - Un solo tipo, dotati dello stesso pigmento?



Percezione cromatica

- Bastano 2 tipologie di recettori?
 - Nessuna lunghezza d'onda monocromatica deve dare la percezione di luce bianca
 - Due coní: almeno una luce monocromatica ci apparirebbe bianca



Percezione cromatica

◦ Teoria Tricromatica (1802 Young-Helmholtz)

- In ogni punto della retina devono esistere almeno tre “particelle” che sono maggiormente sensibili a tre differenti stimoli cromatici (lunghezze d’onda differenti)
- La combinazione (o sintesi) dei tre diversi output permette di creare la percezione dei colori; così come nella sintesi additiva era possibile creare qualsiasi sfumatura di colore a partire dalla mescolanza di tre colori di base

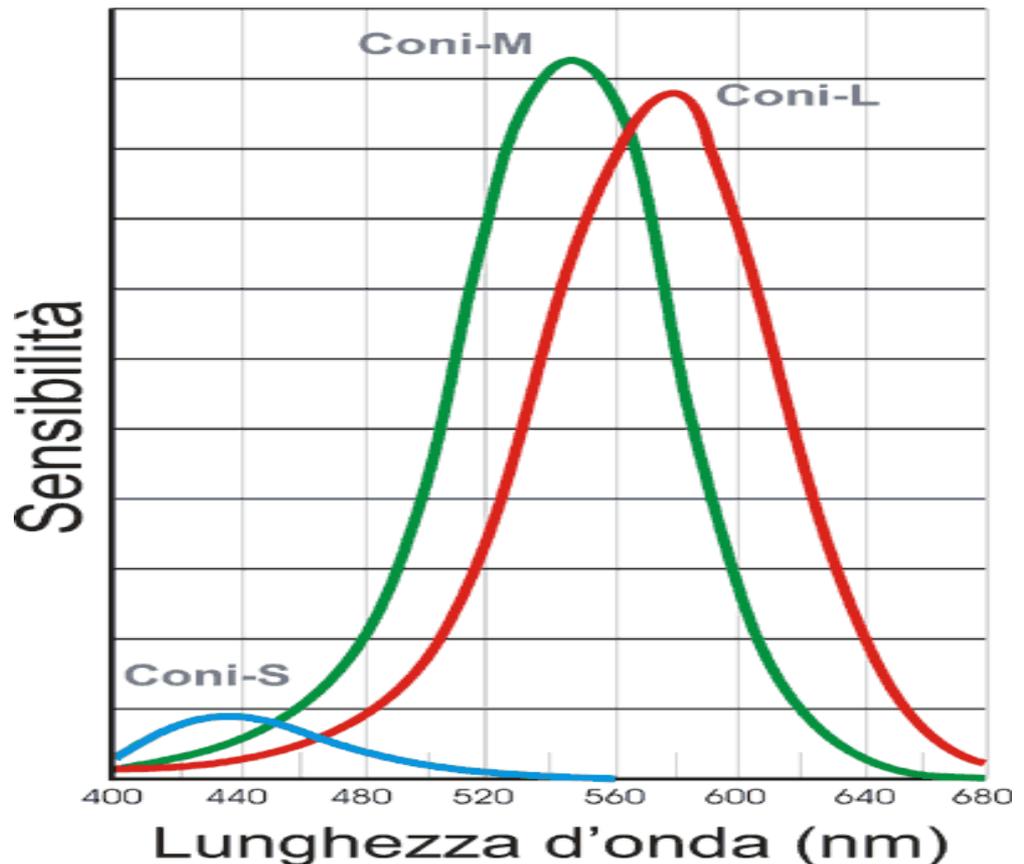
Percezione cromatica

- Teoria Tricromatica (1802 Young-Helmholtz)
 - Coni **S**: costituiti da un pigmento (cianolabile) capace di assorbire maggiormente λ 437nm
 - Coni **M**: costituiti da un pigmento (clorolabile) capace di assorbire maggiormente λ 533nm
 - Coni **L**: costituiti da un pigmento (eritrolabile) capace di assorbire maggiormente λ 564nm

Percezione cromatica

◦ Teoria Tricromatica (1802 Young-Helmholtz)

- Il colore deriva dalla ineguale stimolazione dei tre tipi di coni.
- La luce ad ampia banda spettrale stimolerà i tre coni allo stesso modo e darà la percezione del bianco



Percezione cromatica

◦ Teoria Tricromatica (1802 Young-Helmholtz)

~ Non riesce a spiegare:

- Perché alcuni colori se mescolati danno il bianco (colori complementari)
- Perché se si fissa un certo colore per alcuni minuti poi si ha la percezione del colore complementare (colori consecutivi)
- Perché nel nostro immaginario esistono alcuni colori psicologicamente puri. Cioè è impossibile immaginare che essi possano derivare dall'unione di altri.

Percezione cromatica

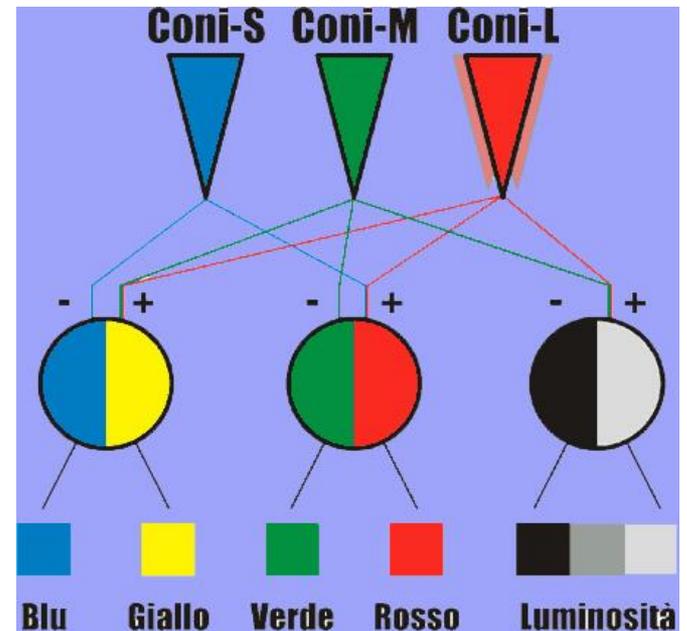
- Teoria dei Processi di Opponenza (Hering 1905-1925)
 - Postula l'esistenza, ad un livello superiore rispetto quello retinico, di tre diverse vie che contribuiscono alla percezione cromatica.
 - Per via si intende un gruppo o sequenza di cellule ad opposizione cromatica (eccitate da alcune λ , inibite da altre).
 - Ad ogni via corrisponde una coppia di colori.
 - L'eccitazione o inibizione delle diverse vie è regolata dai tre tipi di recettori retinici.

Percezione cromatica

◦ Teoria dei Processi di Opponenza (Hering)

– Vie cerebrali:

- Canale del **Rosso/Verde**
- Canale del **Giallo/Blu**
- Canale del **Bianco/Nero**



Percezione cromatica

- Teoria dei Processi di Opponenza (Hering)
 - Le prime due vie sono caratterizzate da coppie di colori antagonisti, cioè la stimolazione di uno ne esclude automaticamente quella dell'altro (si spiega il fenomeno dei colori complementari).
 - Condividendo ogni coppia un canale, la rimozione dello stimolo di un colore produce per un piccolo istante l'eccitazione dell'antagonista.
 - La terza via (bianco/nero) non lavora sull'antagonismo ma regola i livelli di saturazione.

Percezione cromatica

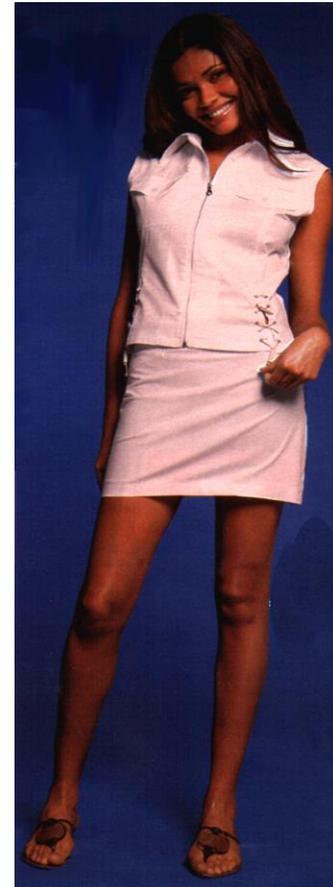
- Teoria Tricromatica e Teoria dei Processi di Opponenza non riescono a spiegare:
 - Fenomeni di costanza del colore: ad una variazione della condizione di illuminazione ambientale non corrisponde una variazione percettiva

Percezione cromatica

All'aperto



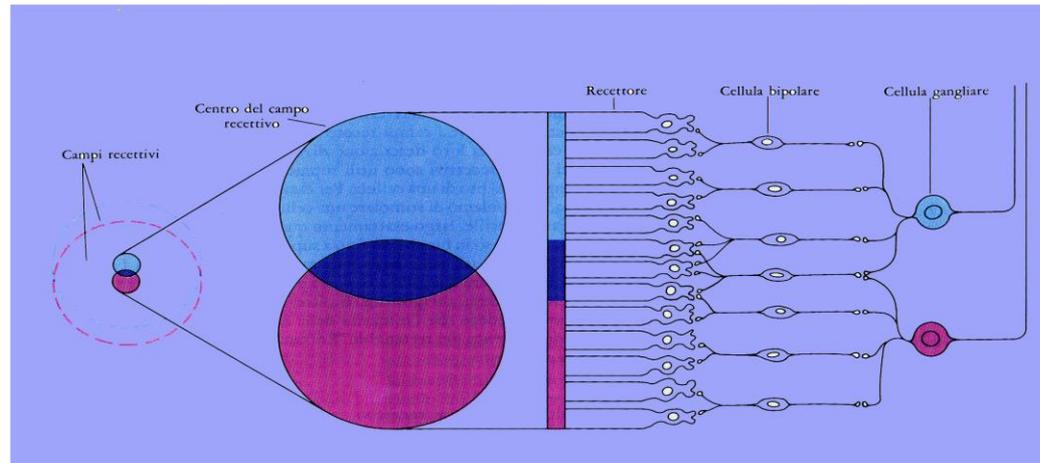
Al chiuso



Percezione cromatica

- Edwin Land (1985)

- Campo recettivo: zona retinica costituita solo da quei recettori che fanno capo ad una cellula specifica.



Percezione cromatica

◦ Edwin Land (1985) Retinex (retina + cortex)

La percezione cromatica dipende da come il nostro sistema cerebrale interpreta la scena nella quale un colore si trova.

- La percezione del marrone
- Si spiegano tutti i fenomeni di costanza
- Il colore, ai nostri occhi, non è un valore assoluto che dipende esclusivamente da valori oggettivi come la lunghezza d'onda.



Anomalie nella Visione dei Colori

Anomalie nella Visione dei Colori

- La classificazione piú comune fu di Von Kries (1897)
 - Distingue le anomalie dalle anopsie
 - Si basa sulla teoria tricromatica

Anomalie nella Visione dei Colori

- **Tricromia anomala** (difficoltà nel distinguere i colori)
 - Proto-anomalia (difficoltà nel distinguere il rosso)
 - Deutero-anomalia (difficoltà nel distinguere il verde)
 - Trito-anomalia (difficoltà nel distinguere il blu)
 - Tartan-anomalia (difficoltà nel distinguere il giallo)

Anomalie nella Visione dei Colori

- **Dicromia**

- Cecità al rosso-verde
 - ✓ Protanopia (cecità al rosso)
 - ✓ Deuteranopia (cecità al verde)
- Cecità al giallo-blu
 - ✓ Tritanopia

- **Monocromia** (totale cecità al colore)

Genetica

Madre sana

X X

X

XX

XX

Y

YX

YX

Padre sano

- Figlie femmine sane
- Figli maschi sani

Genetica

Madre sana

X X

X_p

X_pX

X_pX

Y

YX

YX

Padre
affetto

- Figlie femmine portatrici sane
- Figli maschi sani

Genetica

Madre portatrice sana

X_p	X
-------	-----

Padre sano

X
Y

$X_p X$	XX
$Y X_p$	YX

- Figlie femmine
50% portatrici sane
- Figli maschi 50% affetti

Genetica

Madre portatrice sana

X_p	X
-------	-----

Padre
affetto

X_p
Y

$X_p X_p$	$X_p X$
$Y X_p$	$Y X$

- Figlie femmine
50% portatrici sane
50% affette
- Figli maschi 50% affetti

Genetica

Madre affetta

	X_p	X_p
X	XX_p	XX_p
Y	YX_p	YX_p

Padre sano

- Figlie Femmine portatrici sane
- Figli maschi affetti

Genetica

Madre affetta

X_p X_p

X_p
 Y

$X_p X_p$	$X_p X_p$
$Y X_p$	$Y X_p$

Padre affetto

- Figlie femmine affette
- Figli maschi affetti

Anomalie nella Visione dei Colori

Problemi nella percezione cromatica	maschi	femmine
Generale	~8%	~0.5%
<i>Tricromia Anomala</i>		
protanomalia	1%	0.01%
deutanomalia	5%	0.4%
tritanomalia	rara	rara
<i>Dicromia</i>		
protanopia	1%	0.01%
deuteranopia	1.5%	0.01%
tritanopia*	0.008%	0.008%
<i>Monocromia</i>	rara	rara

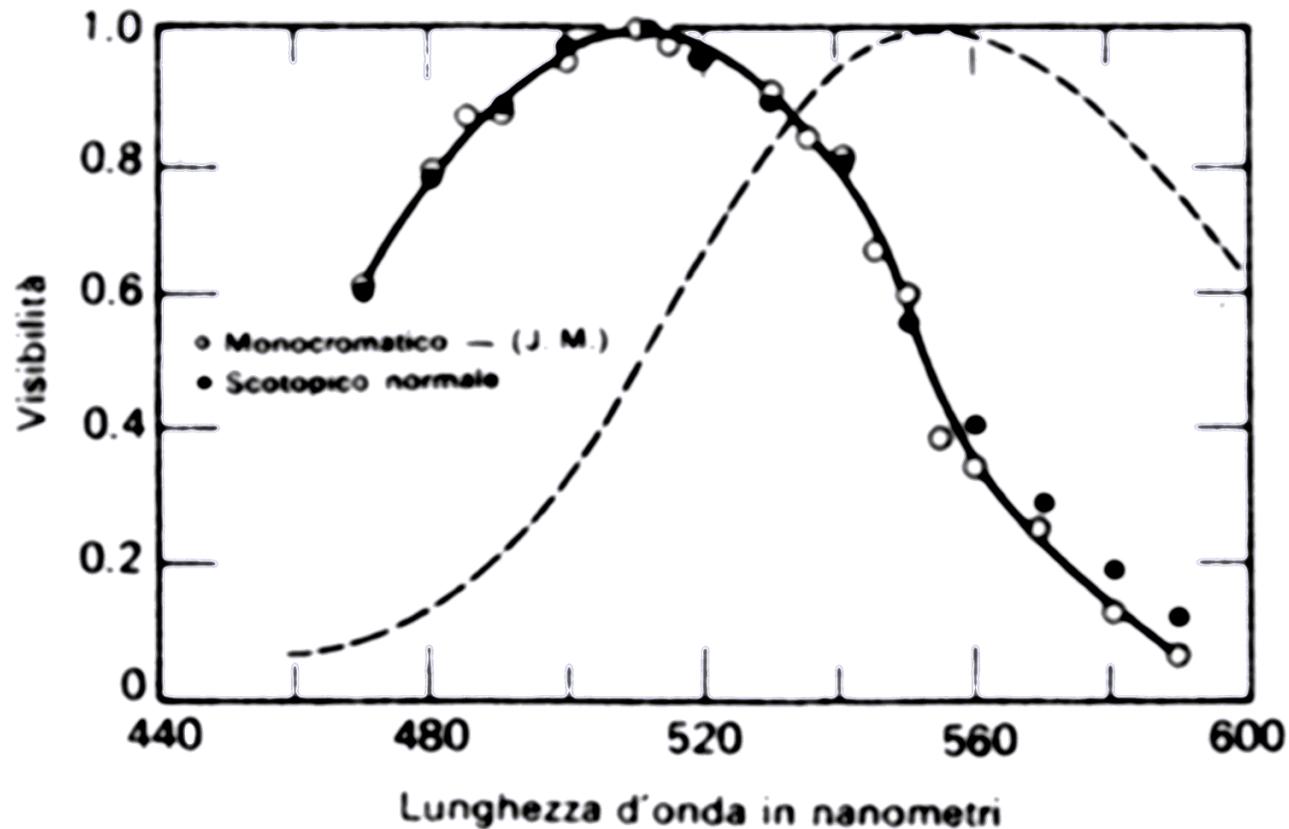
Anomalie nella Visione dei Colori

- Come fare a distinguere le varie anomalie?
- Il primo strumento fu ideato da un fisico inglese John William Strutt
- Conosciuto meglio come Lord Rayleigh

Anomalie nella Visione dei Colori

- Casi di completa cecità sono rari
- In questi casi vi è una bassa AV (1/10) in condizione di luce fotopica
- Tutto il comportamento indica che i coni o non funzionano o mancano del tutto

Anomalie nella Visione dei Colori



Anomalie nella Visione dei Colori

- La ricerca continua e nel 1960 vennero costruiti microspettrofotometri per analizzare l'assorbanza dei pigmenti nei fotorecettori.
- I risultati furono compatibili con gli studi psicofisici

Anomalie nella Visione dei Colori

- Nel 1970 si dimostrò che nei dicromati l'assorbimento di particolari lunghezze d'onda non era normale
- Negli anni 80 iniziarono gli studi genetici, rivolgendo particolare attenzione nelle differenze tra soggetti normali e "anomali"

Anomalie nella Visione dei Colori

- Philippe Lanthony nel 1986, compiendo studi genetici sperimentali scoprì che:
- La molecola del pigmento dei coni del rosso differisce da quella del verde solo per 15 amminoacidi su 364
- Risultò un polimorfismo nella struttura molecolare

Anomalie nella Visione dei Colori

- La piccola differenza tra i coni rossi e verdi suggerisce che entrambi derivano da un pigmento ancestrale presente in un'epoca abbastanza recente dell'evoluzione

Anomalie nella Visione dei Colori

- I soggetti risultati privi del recettore per il rosso, in realtà hanno un gene ibrido.
- I tricromati anomali hanno tutti un gene ibrido in aggiunta ad alcuni o a tutti i geni normali per i pigmenti visivi.

Anomalie nella Visione dei Colori

- Vi sono ancora delle domande a cui non sappiamo rispondere:
- Che cosa conferisce ai pigmenti il loro caratteristico spettro di assorbimento?
- In che modo ciascun fotorecettore decide quale pigmento produrre?
- Come si formano le connessioni tra i fotorecettori e i neuroni a livello più elevato?

Anomalie nella Visione dei Colori

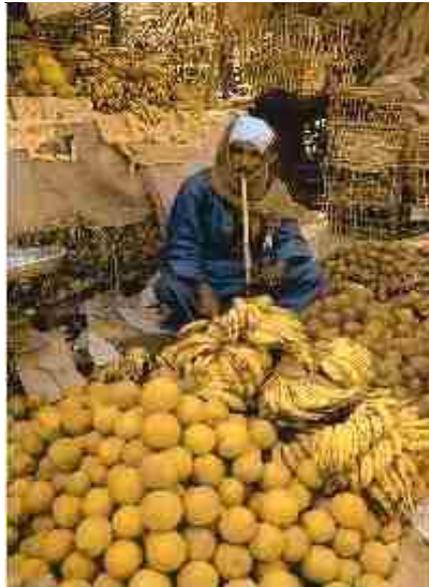
- È il cervello che interpreta tutti i segnali come colori
- Nell'1993 Semir Zeki riconobbe delle aree nel cervello impegnate in compiti specifici
- Chiamò V4 quella deputata alla visione dei colori

Anomalie nella Visione dei Colori

- Per conoscere ciò che è visibile, il cervello non può dunque limitarsi ad analizzare le immagini presentate alla retina, ma deve costruirsi un mondo visivo.
- A questo scopo, il cervello ha sviluppato un elaborato meccanismo neurale.

IL COLORE, COME IL
BIANCO E NERO, E' SOLO
UNO DEI MEZZI PER
PERCEPIRE LE FORME.

Anomalie nella Visione dei Colori



Test

- I test della visione del colore dovrebbero far parte di ogni esame optometrico di base.
- Si eseguono:
 - Binocularmente per i difetti congeniti e screening
 - Monocularmente per i difetti acquisiti

T est

- Esistono differenti tipologie di test:
 - Anomaloscopia
 - Lord Raileight (originale) RV
 - Neitz OT RV
 - Oculus Heidelberg RV e GB
 - Nagel (Desaturato BluGreen) RV e GB
 - Tavole pseudoisocromatiche
 - Ishihara RV
 - SPP 1 & SPP 2 RV e GB
 - Hardy Rand and Rittler (HRR) RV e GB

Test

- Farnsworth

- Farnsworth Munsell 100 Hue RV GB
- Lanthony New Colour Test RV GB
- D 15 Dichotomous Test RV GB
- Lanthony Desaturated Color Test RV GB

T est

- Differenze tra i più conosciuti T est:
 - Le Tavole pseudoisocromatiche di Ishihara sono un test incompleto, in quanto indagano solo le deficienze nel rosso-verde, ma viene utilizzato negli screening perché è semplice e veloce.
 - Il Farnsworth FM100H classifica l'anomalia e ne dà la severità, ma è molto lento (85).
 - L'HRR viene utilizzato negli screening perché semplice, veloce e completo.

Test

- Perché eseguire i test?
 - Alcune categorie di lavoratori sono più sensibili ai deficit che coinvolgono la visione dei colori
(Dentisti, elettronici, ferrotranvieri, infermieri, ...)
 - L'esecuzione dei test in modo monoculare o differenze rispetto a risultati ottenuti precedentemente, possono indicare la presenza di un difetto acquisito.

Classificazione della anomalie acquisite

- Secondo Kollner (1912) questa è la «regola» generale: le problematiche retiniche sarebbero le maggiori responsabili dei difetti delle anomalie sull'asse giallo-blu (S-mechanism), mentre per le anomalie del nervo ottico invece sono più comuni le anomalie dell'asse rosso-verde (M-L mechanism);
- Questa «regola» di fatto non spiega diverse situazioni

Classificazione della anomalie acquisite

Secondo Verriest (1963) potremmo così sintetizzare:

Tipo I red-green (simil protanope)

tricromatico -> processo atrofia coroideale

dicromatico -> Stargardt's

Tipo II red-green (simil deuteranope)

tricromatico -> Usher's, disfunzioni del nervo ottico, neurite ottica, ambliopia tossica, atrofia ottica, malattia associata al chiasma

dicromatico -> degenerazione corioretinica periferica, degenerazione coroideale miopica, RRD, CSR e corioretiniti

Tipo III tritan -> retinopatie vascolare e papilledema, glaucoma, atrofia ottica dominante

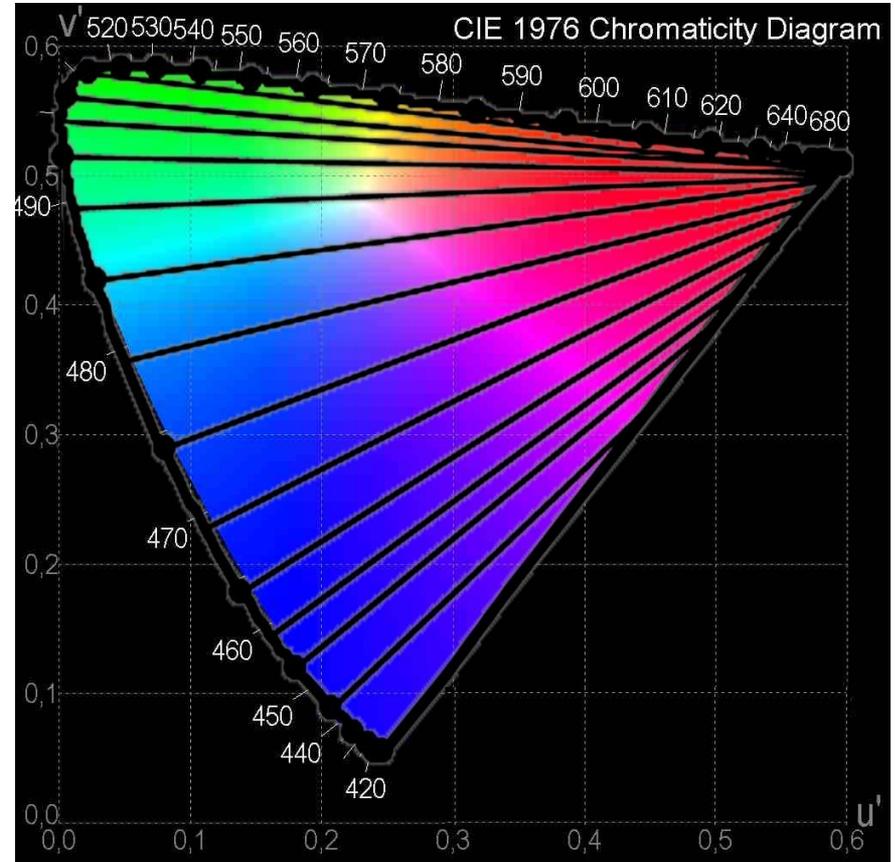
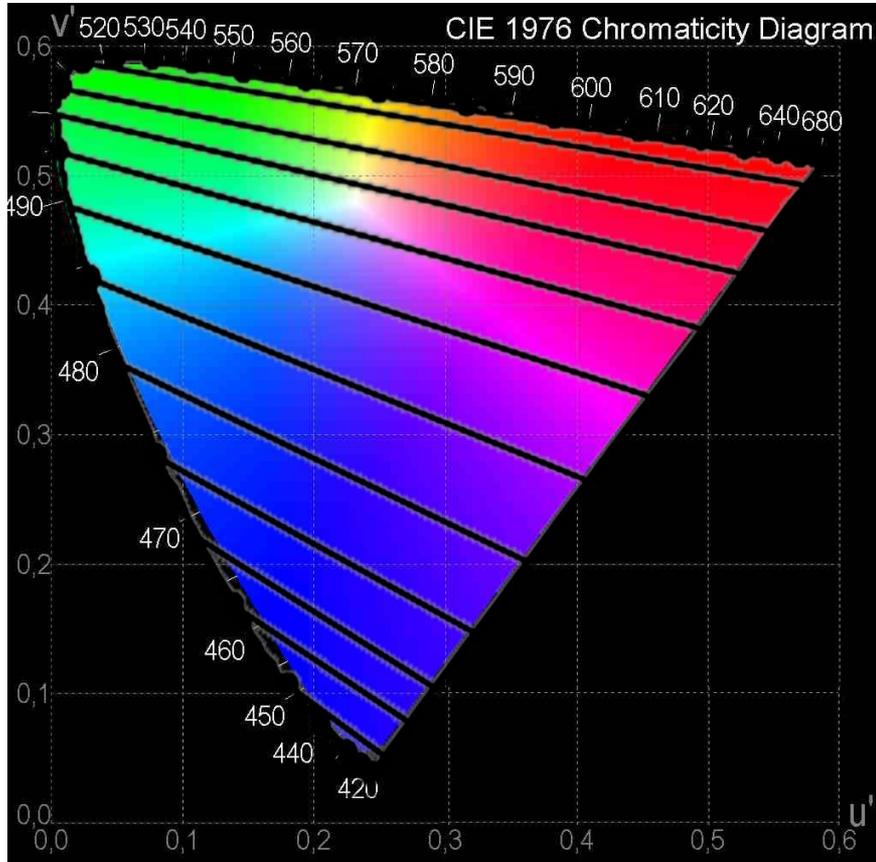
Classificazione della anomalie acquisite

- In presenza di cataratta sappiamo che avremo dei risultati ambigui causati dall'assorbimento delle corte lunghezze d'onda ($< 500/520$ nm).

Conclusione

- Le anomalie di tipo acquisito dell'asse giallo-blu sono circa il doppio rispetto a quelle dell'asse rosso-verde, mentre quelle di tipo genetico sono nettamente dominanti quelle sull'asse rosso-verde rispetto a quelle del giallo-blu.
- Le anomalie genetiche hanno una definizione precisa, rispetto ai risultati dei test, mentre quelle acquisite sono di più difficile interpretazione.
- La diagnosi di una patologia è un atto medico e non deferibile ad un professionista sanitario non medico.

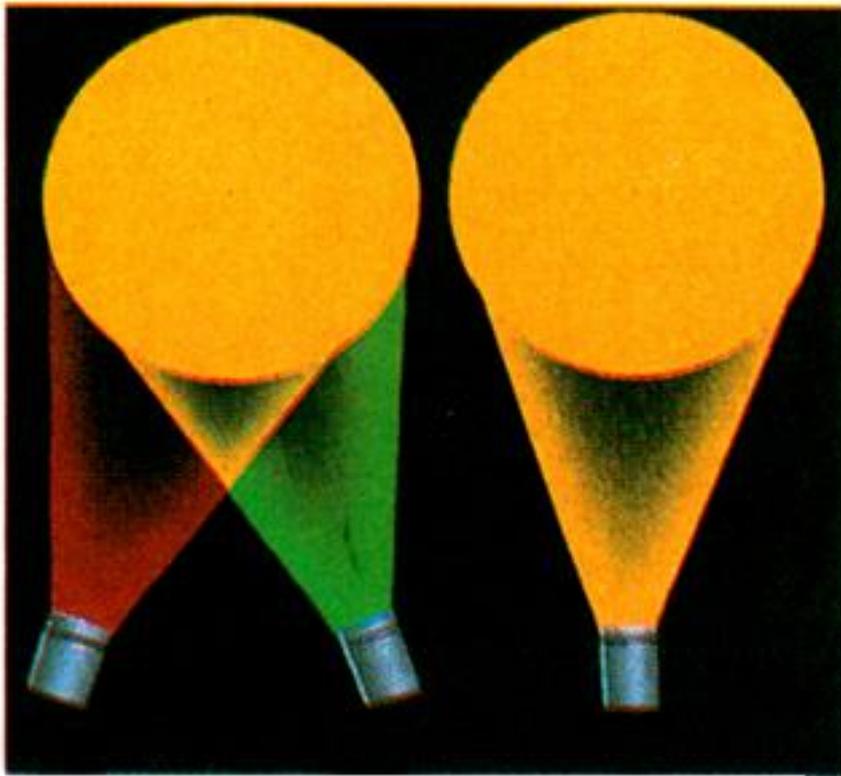
Assi di confusione



Anomalie nella Visione dei Colori

Anomaloscopio di Raylight

visione normale dei colori



La zona a sinistra varia da puro **rosso** (73 unità) a puro **verde** (0 unità)

La zona a destra varia solo in luminanza da **giallo** scuro (0 unità) a **giallo** luminoso (87 unità)

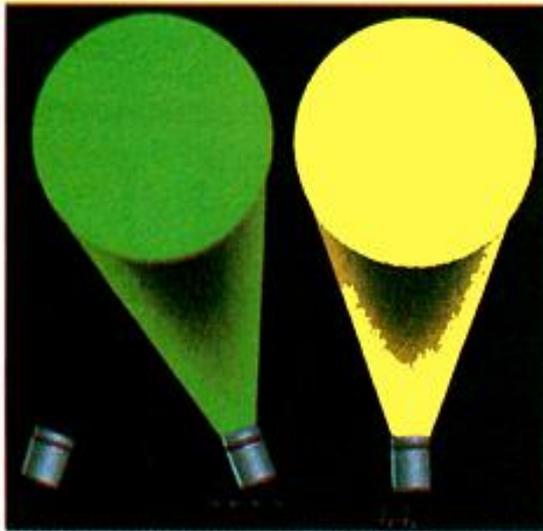
Un soggetto normale riferisce di vedere l'uguaglianza con valori di 40 unità per **rosso** / **verde** e 15 unità per la luminanza del giallo

Anomalie nella Visione dei Colori

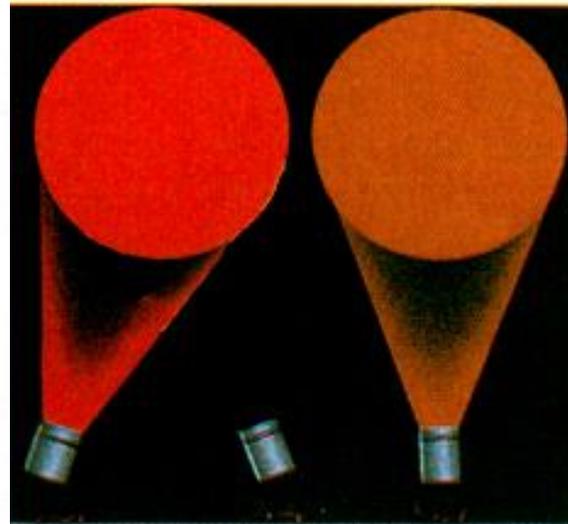
Anomaloscopio di Raylight

Fase iniziale: Partendo dai valori "normali" anche i soggetti dicromati diranno di percepire l'uguaglianza tra le due zone

Uguaglianza di un Soggetto Protanope



Puro verde



Puro rosso

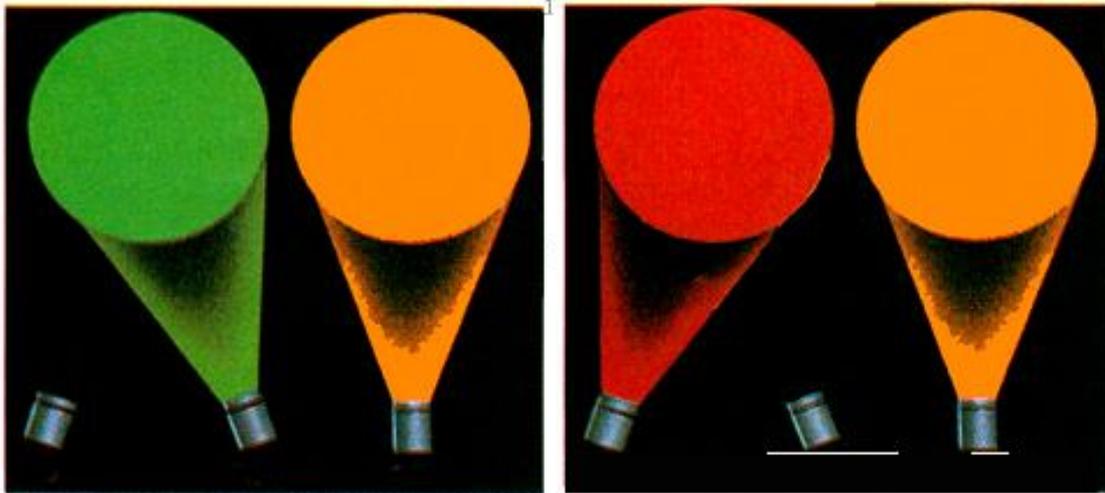
L'uguaglianza viene accettata sia nel caso in cui si utilizzi puro verde che puro rosso (range soggetti normali max 4 unità)

La luminanza del giallo è alta se utilizza verde oppure bassa se utilizza maggiormente rosso

Anomalie nella Visione dei Colori

Anomaloscopio di Raylight

Uguaglianza di un soggetto Deuteranope



Puro verde

Puro rosso

L'uguaglianza viene accettata sia nel caso in cui si utilizzi puro verde che puro rosso (range soggetti normali max 4 unità)

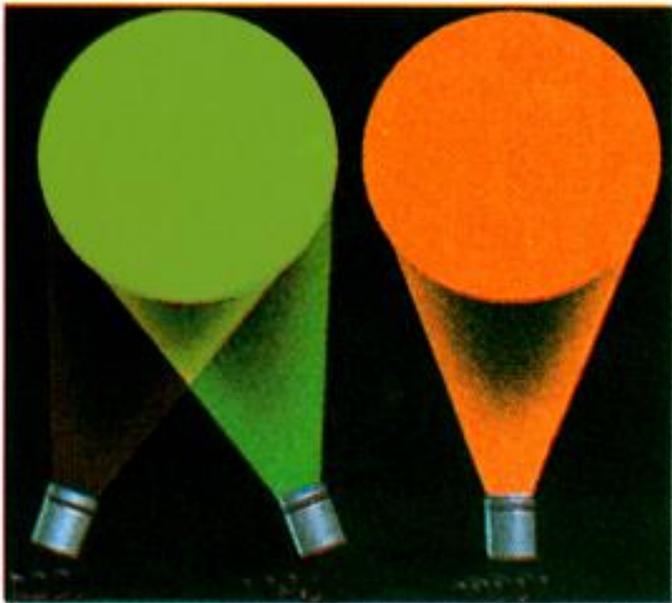
La luminanza del giallo rimane costante (15 unità) al variare di R/V

Anomalie nella Visione dei Colori

Anomaloscopio di Raylight

Fase iniziale: Partendo dai valori "normali" i soggetti anomali diranno di NON percepire l'uguaglianza tra le due zone

Uguaglianza di un soggetto Protanomalo



Il soggetto protanomalo ci riferirà di percepire la zona di sinistra verde

Per ottenere l'uguaglianza dovrà utilizzare più rosso rispetto al verde (valori superiori a 45)

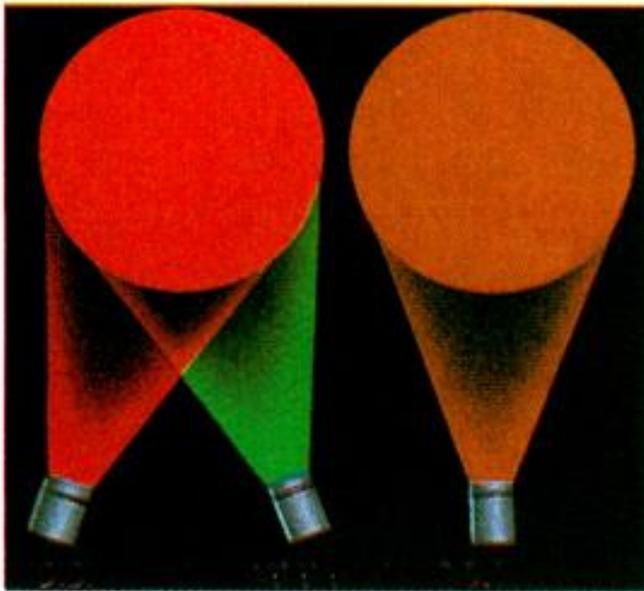
Il calcolo del range (come nei casi precedenti) ci indica la gravità del difetto

La luminanza del giallo è alta se utilizza verde oppure bassa se utilizza maggiormente rosso

Anomalie nella Visione dei Colori

Anomaloscopio di Raylight

Uguaglianza di un soggetto Deuteranomalo



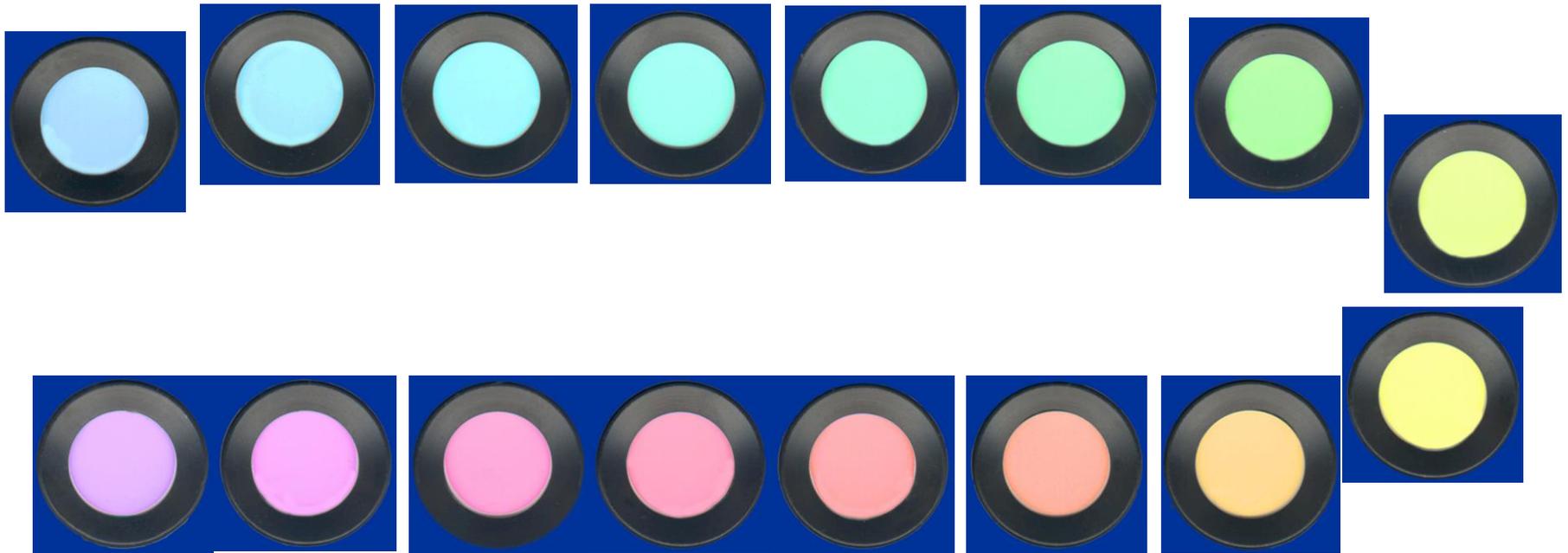
Il soggetto deuteranomalo ci riferirà di percepire la zona di sinistra rossa

Per ottenere l'uguaglianza dovrà utilizzare più verde rispetto al rosso (valori inferiori a 35)
Il calcolo del range (come nei casi precedenti) ci indica la gravità del difetto

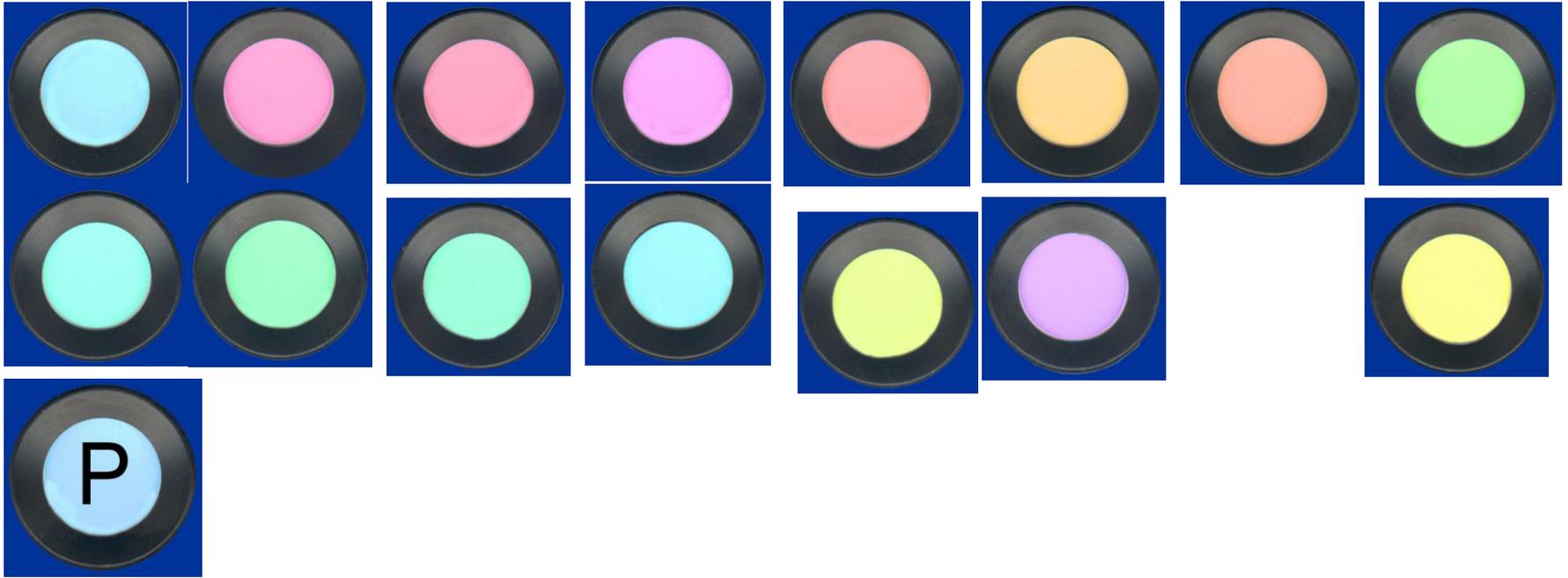
La luminanza del giallo rimane costante (15 unità) al variare di R/V

I Nostrí Test

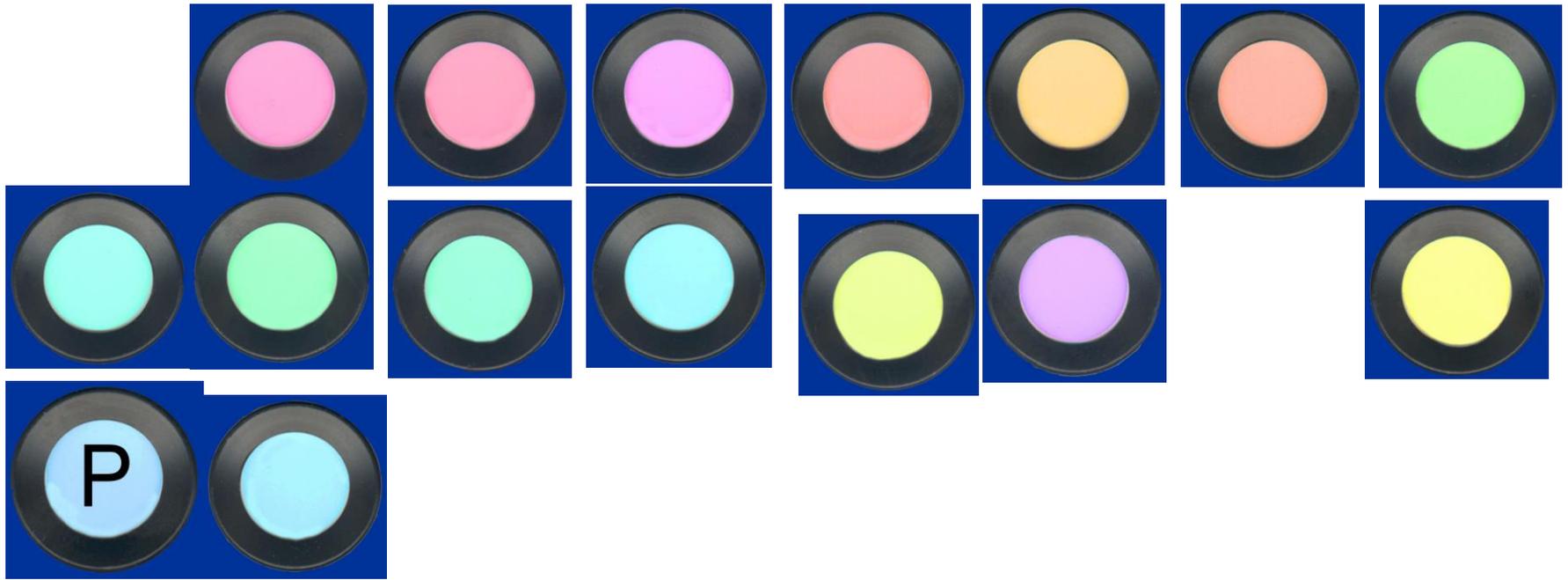
- L'Anthony 15 Desaturated Color Test



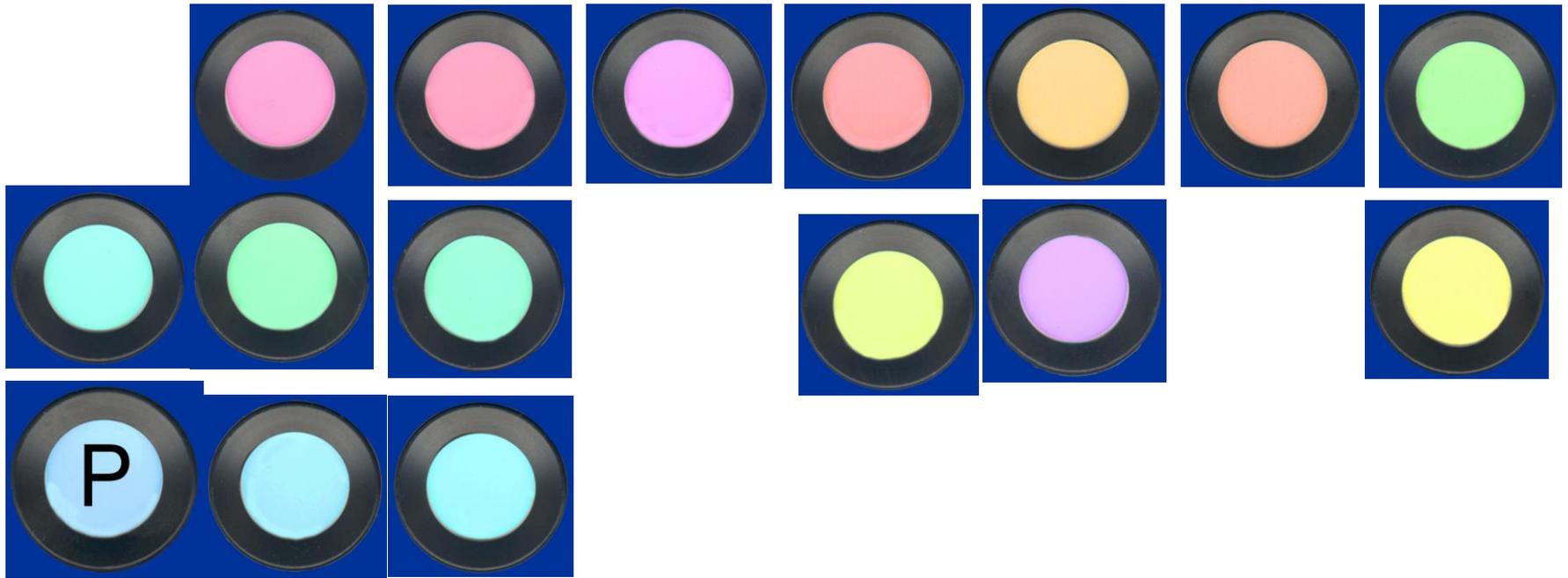
I Nostrí Test



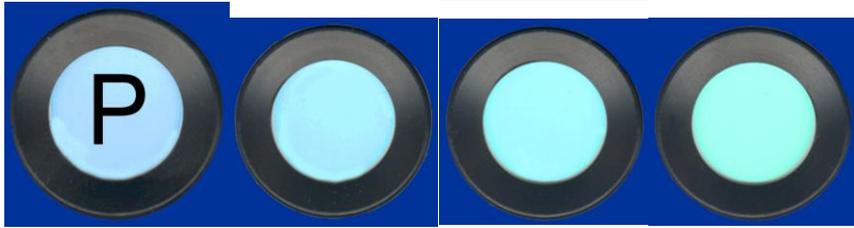
I Nostrí Test



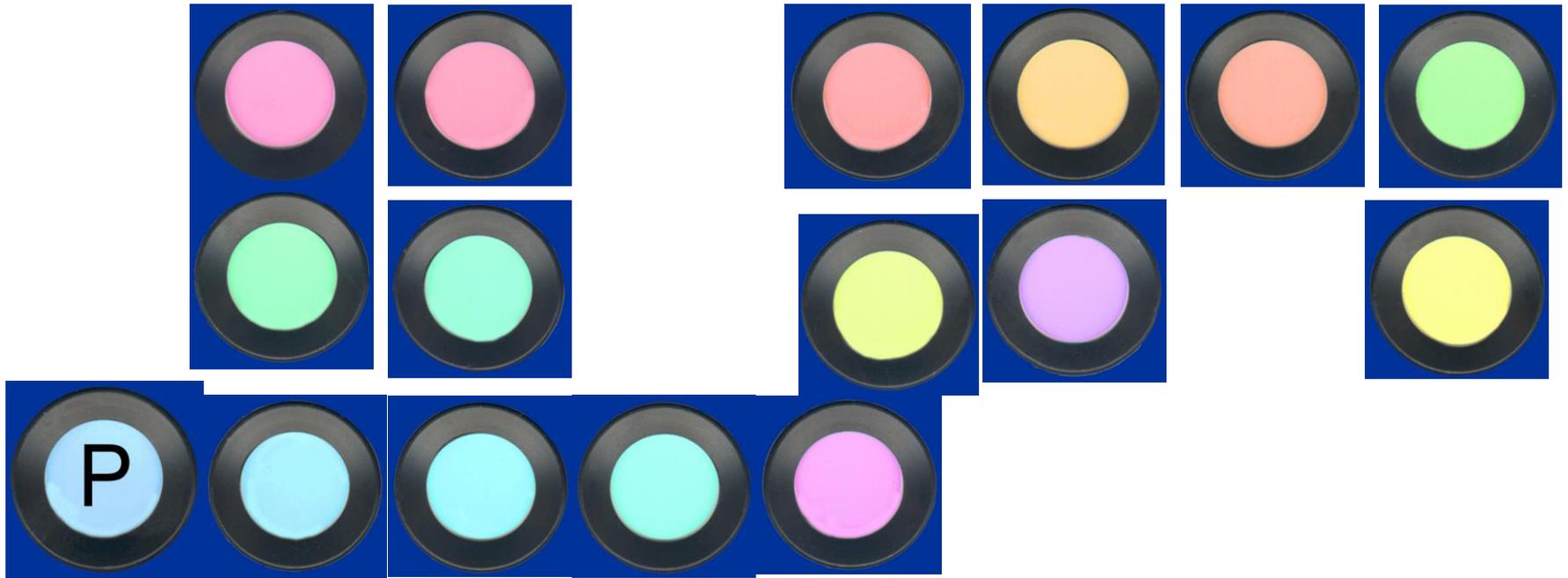
I Nostri Test



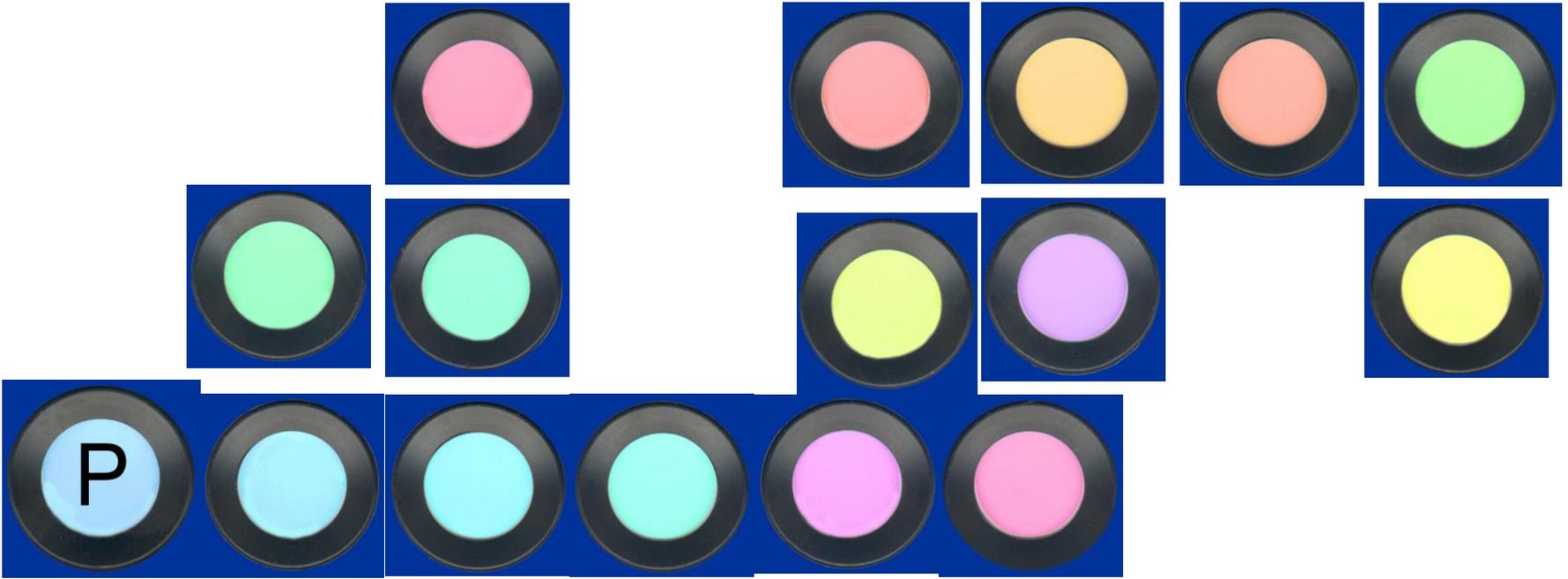
I Nostrí Test



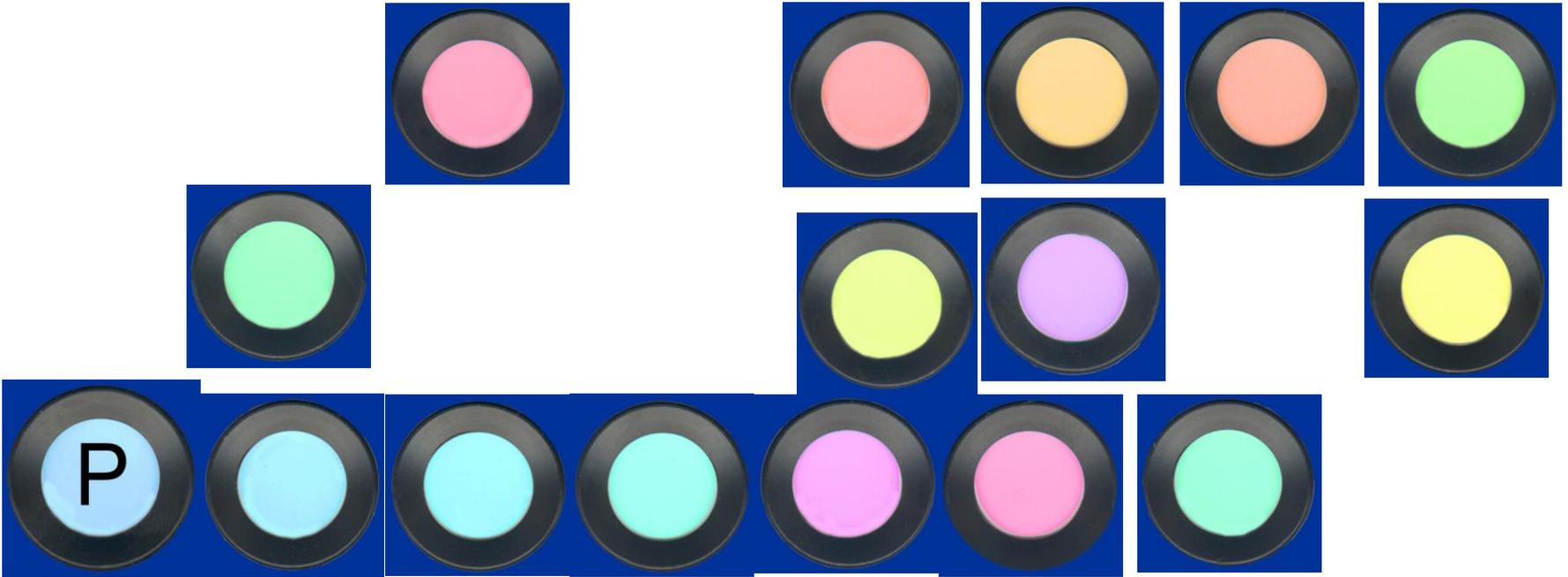
I Nostrí Test



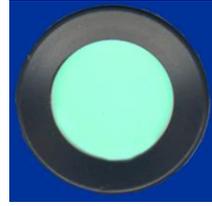
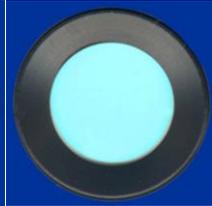
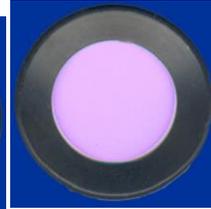
I Nostrí Test



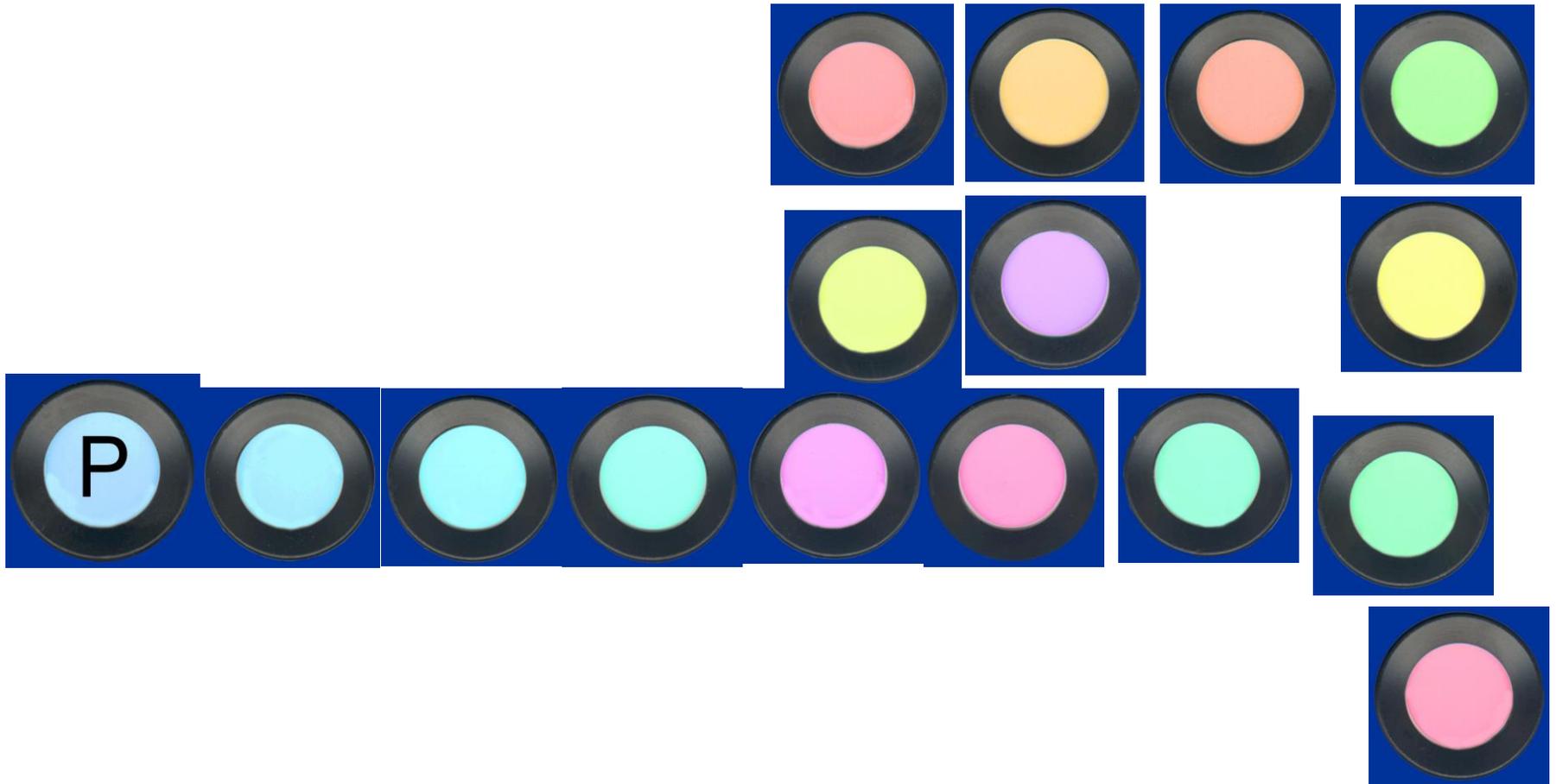
I Nostri Test



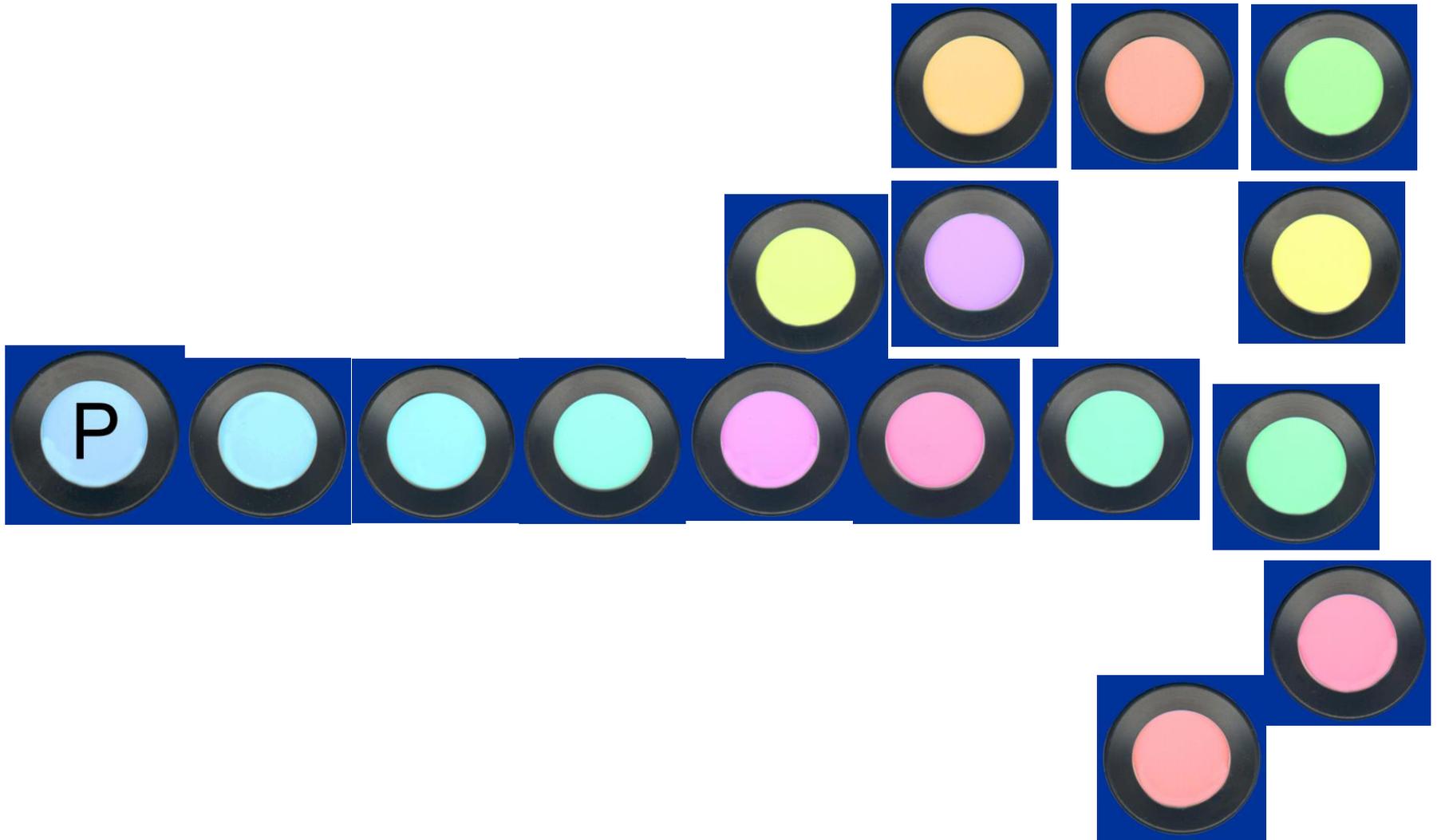
I Nostrí Test



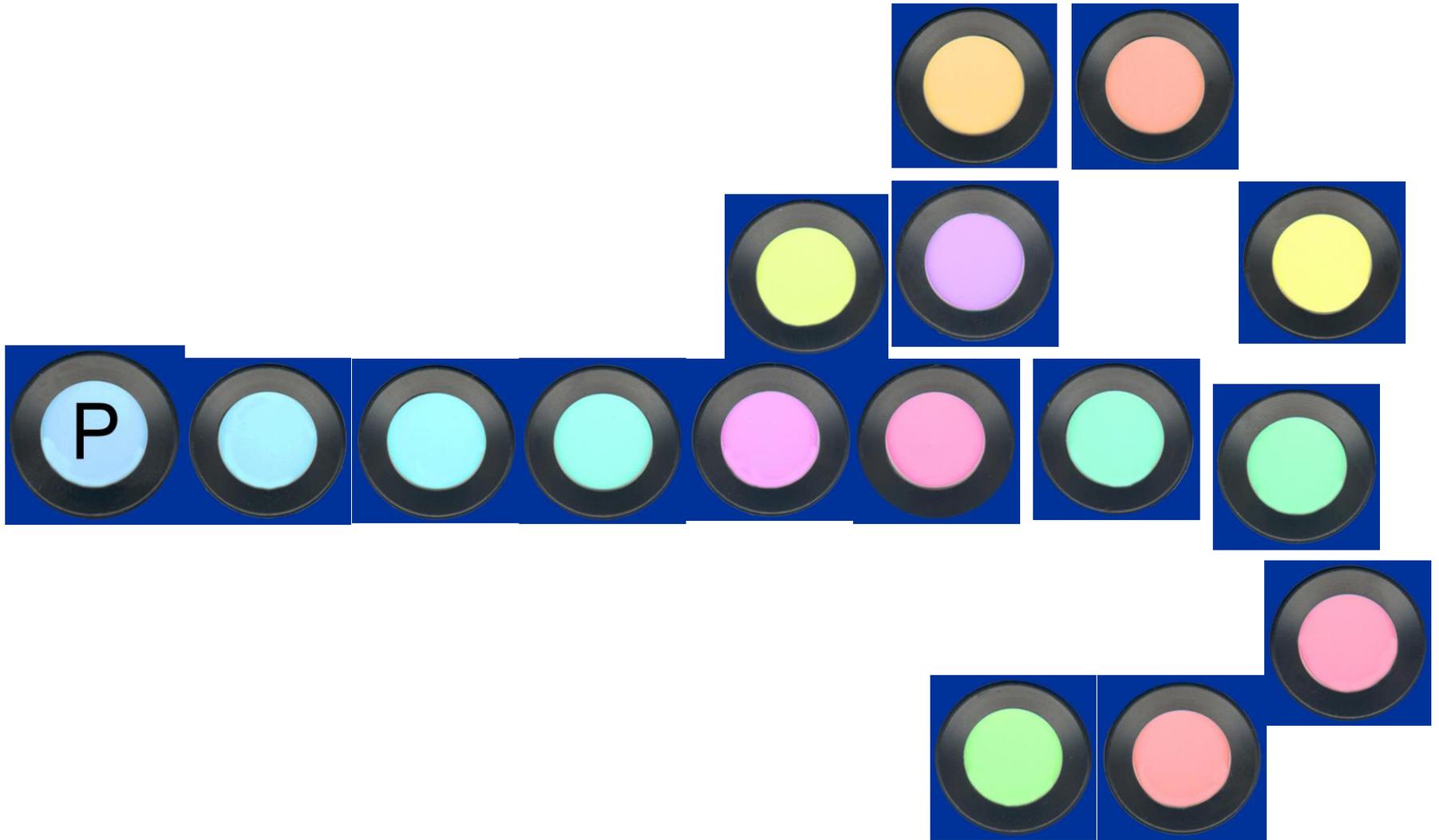
I Nostri Test



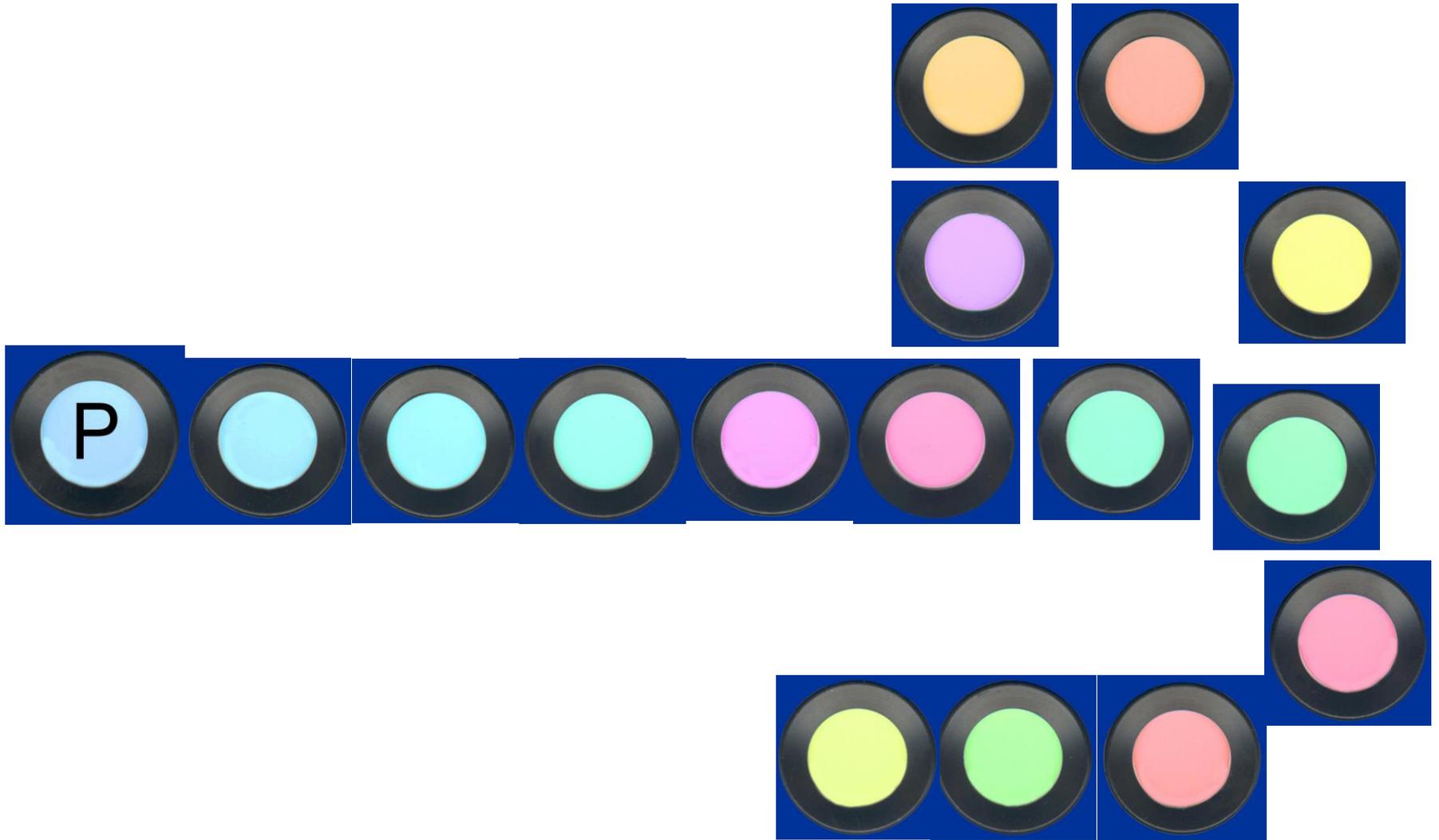
I Nostrí Test



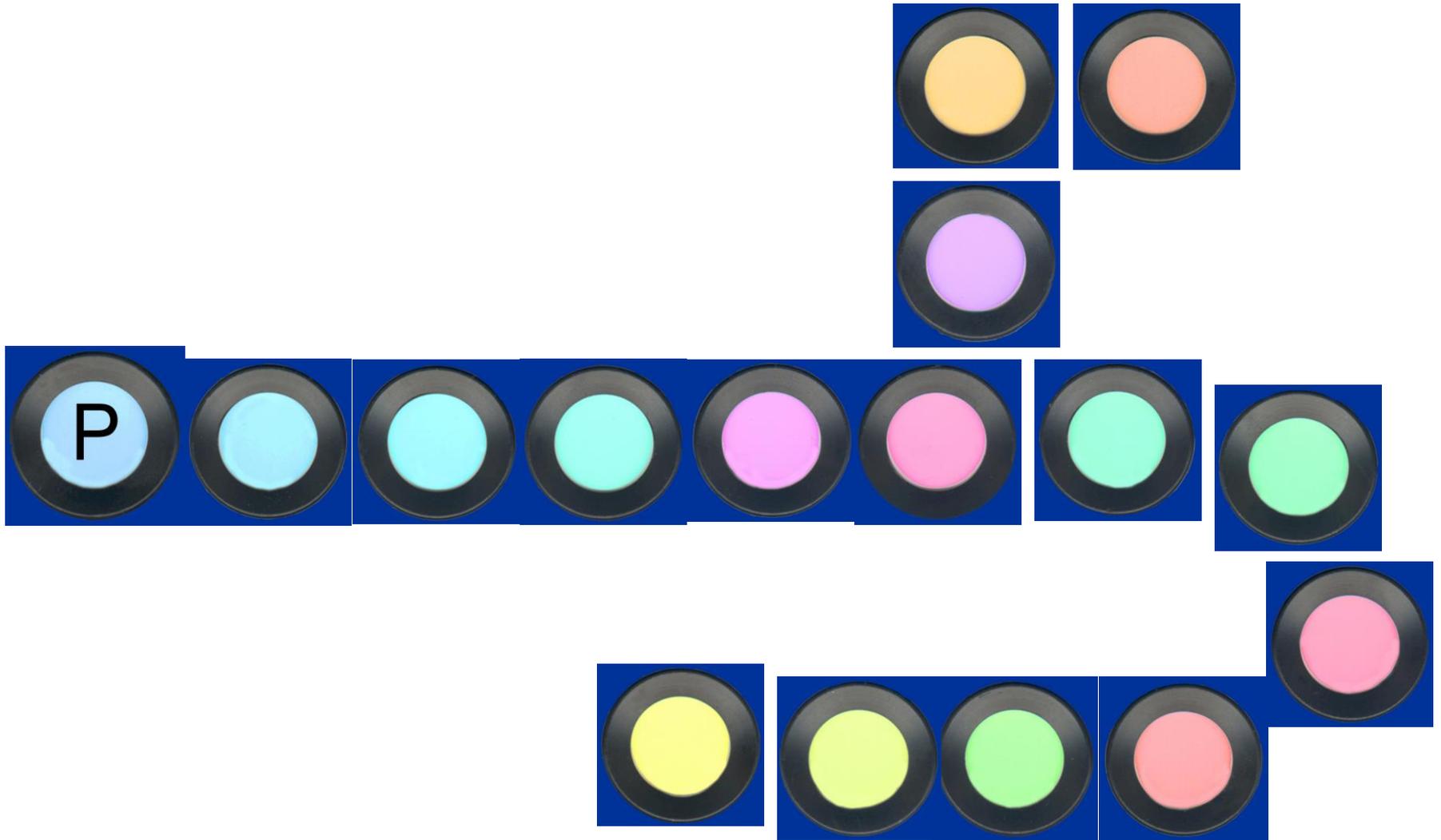
I Nostrí Test



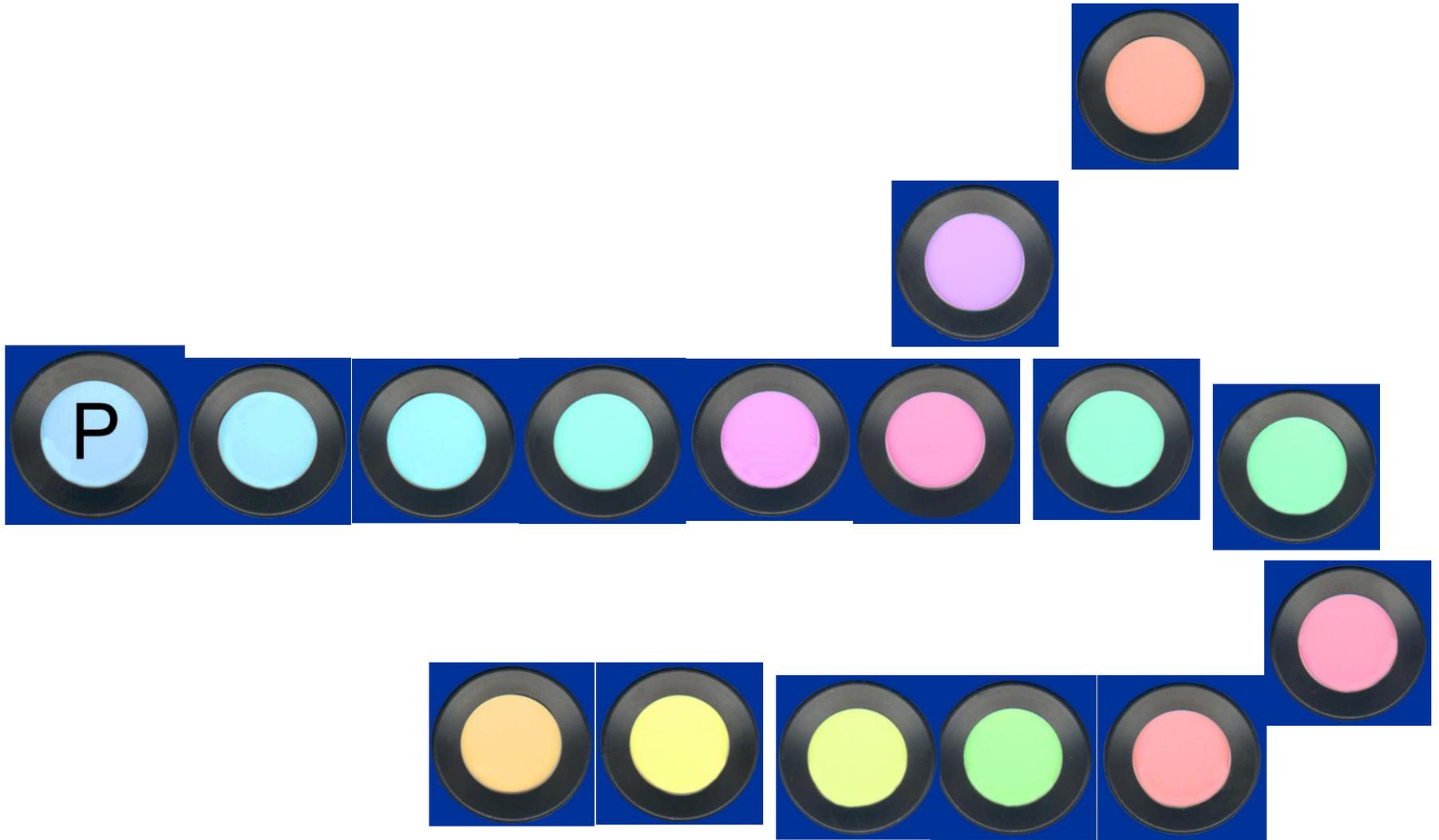
I Nostri Test



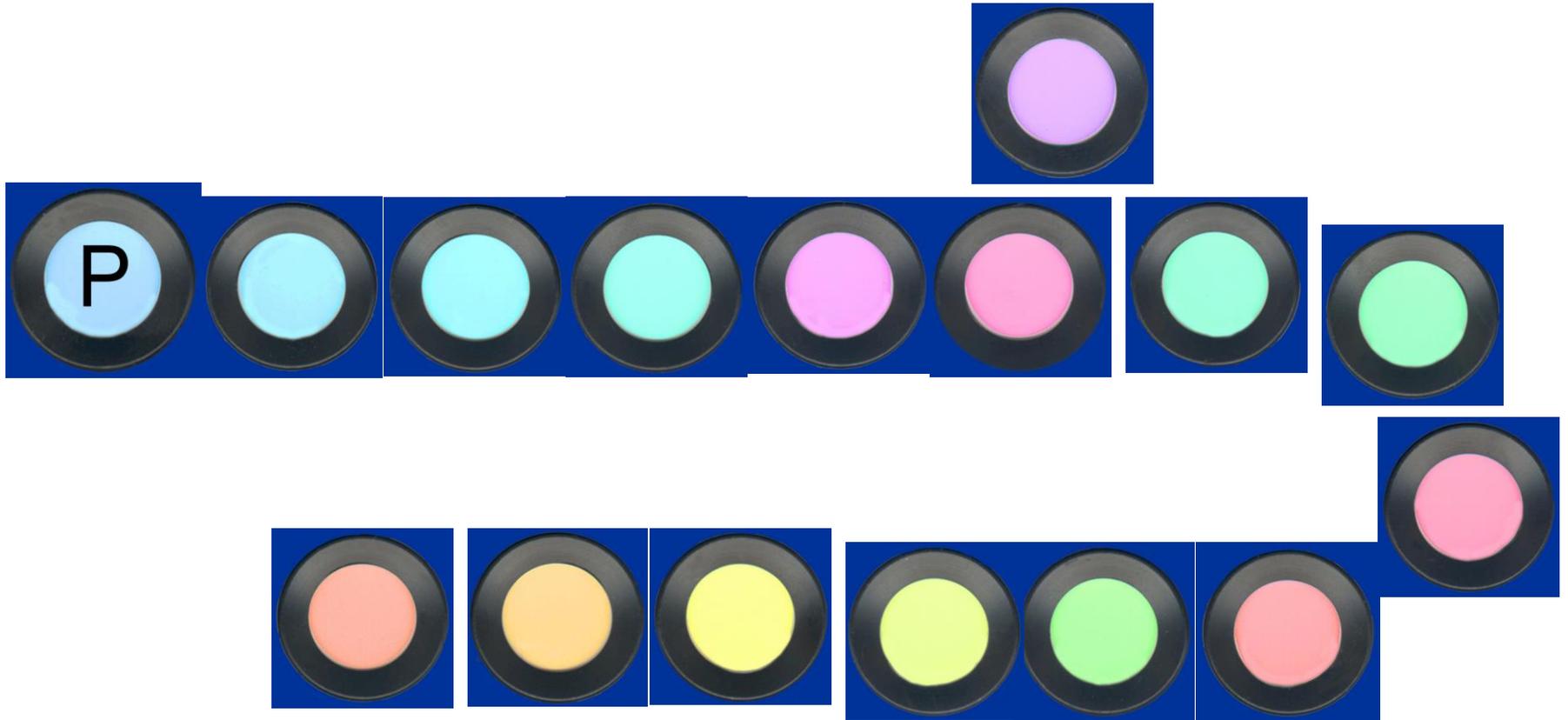
I Nostri Test



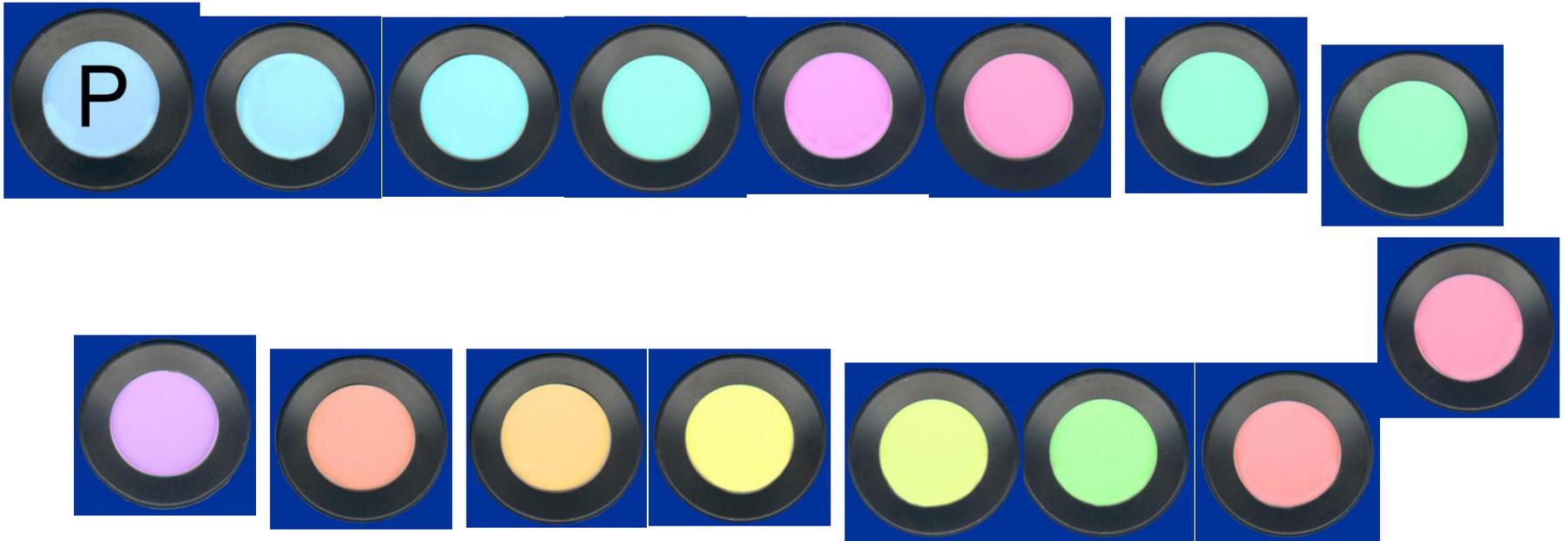
I Nostri Test



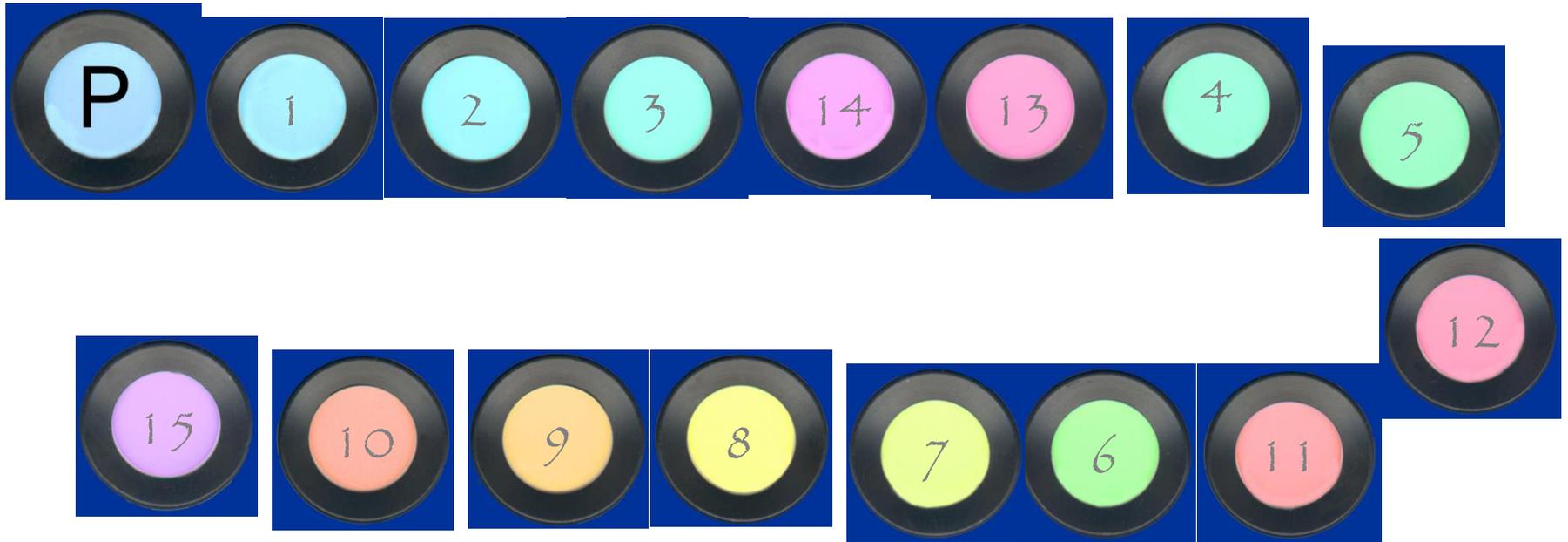
I Nostri Test



I Nostri Test



I Nostrí Test



I Nostri Test

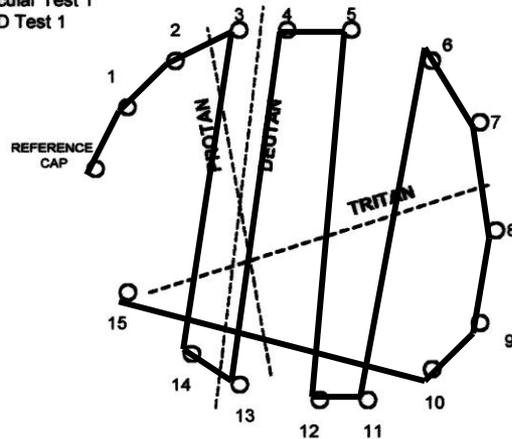
Score Sheet Template for 15 Disc Color Vision Test

Name: Simone DOB: 24/09/74 Test Date: 25-09.-22

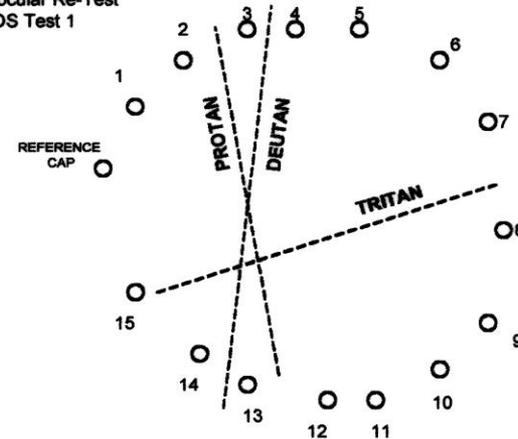
Mode: Binocular X or OD OS Tester: Archimede

Copy this template onto your medical history or plain paper

Binocular Test 1
or OD Test 1



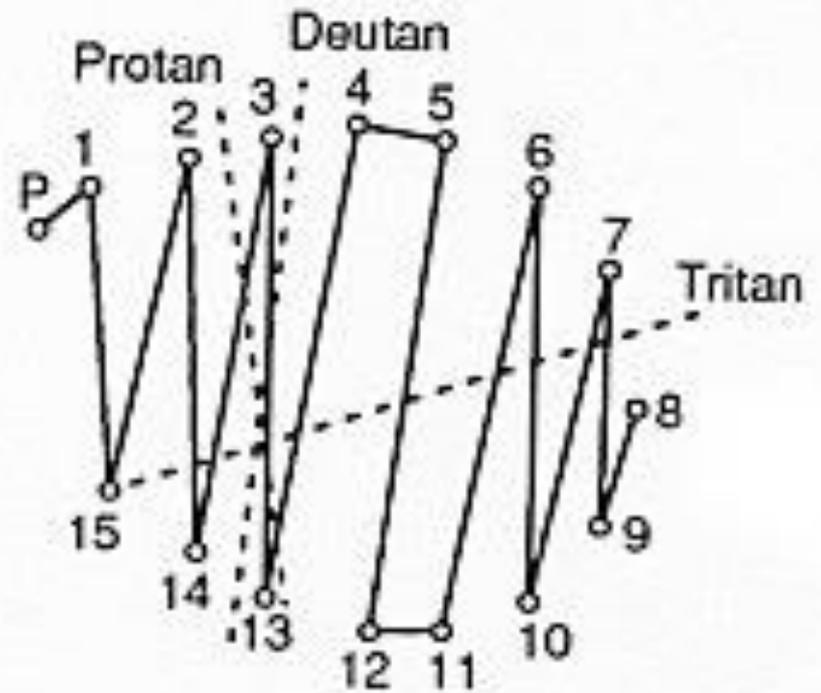
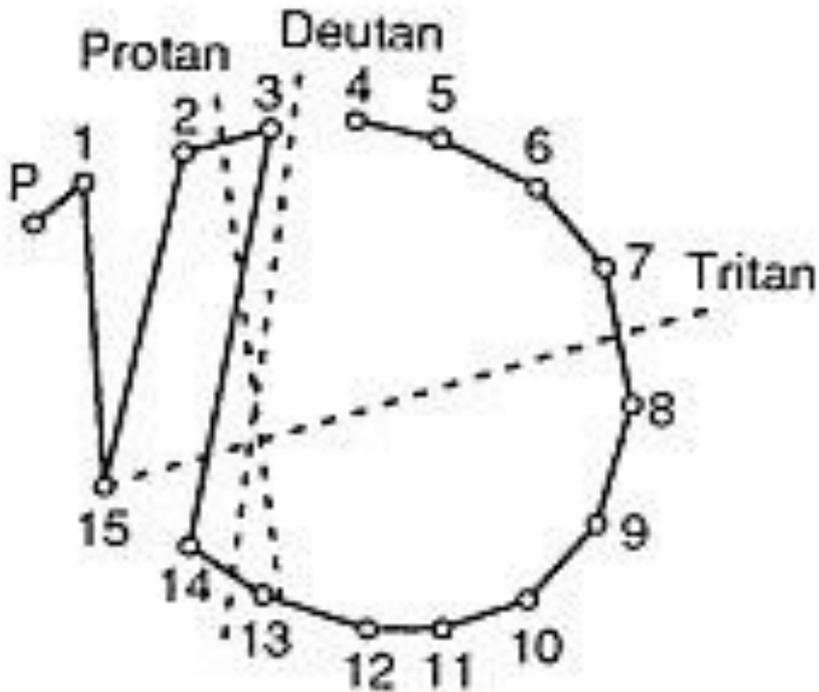
Binocular Re-Test
or OS Test 1



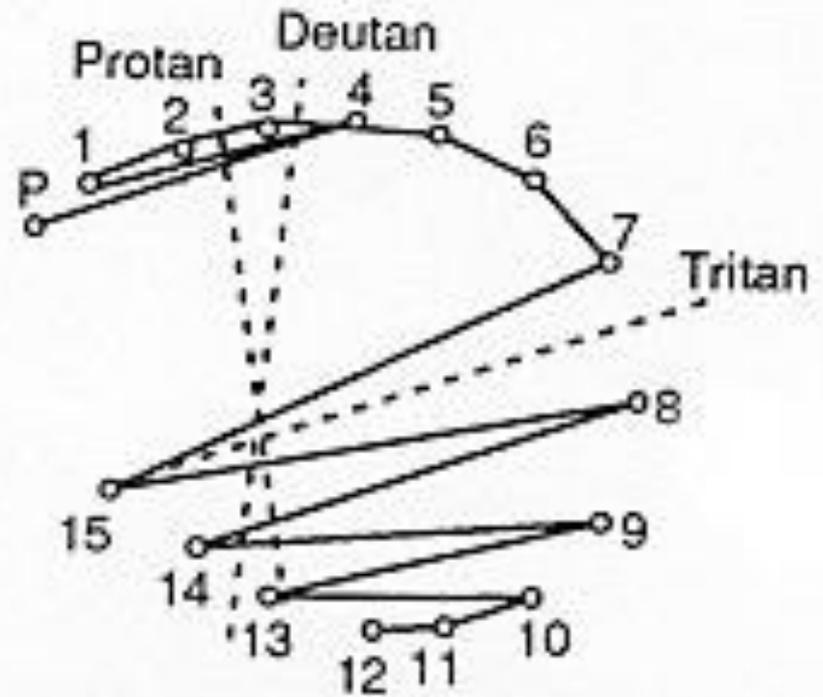
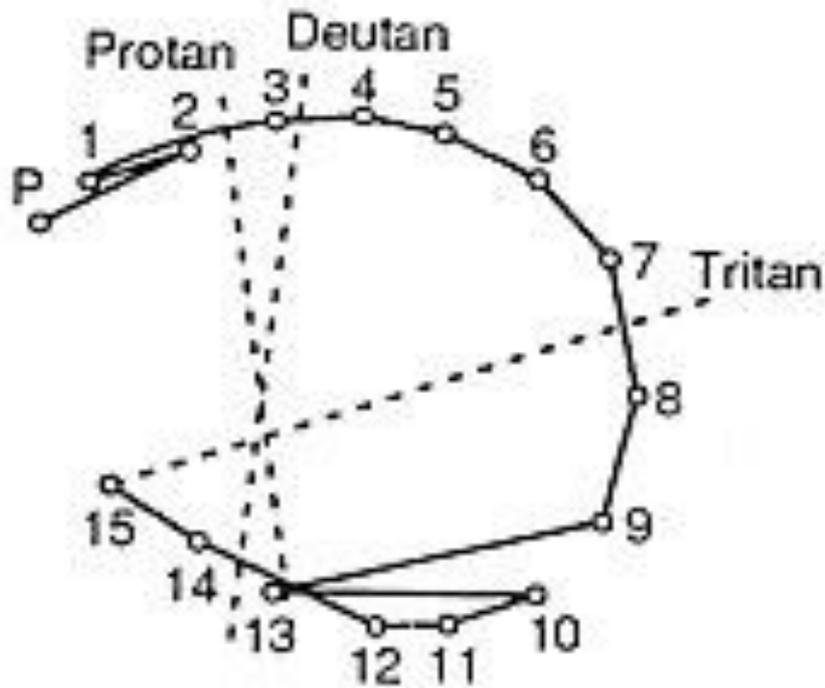
Richmond Products
1021 So Rogers Cir # 6 Boca Raton, FL 33487

Richmond Part Number 4428

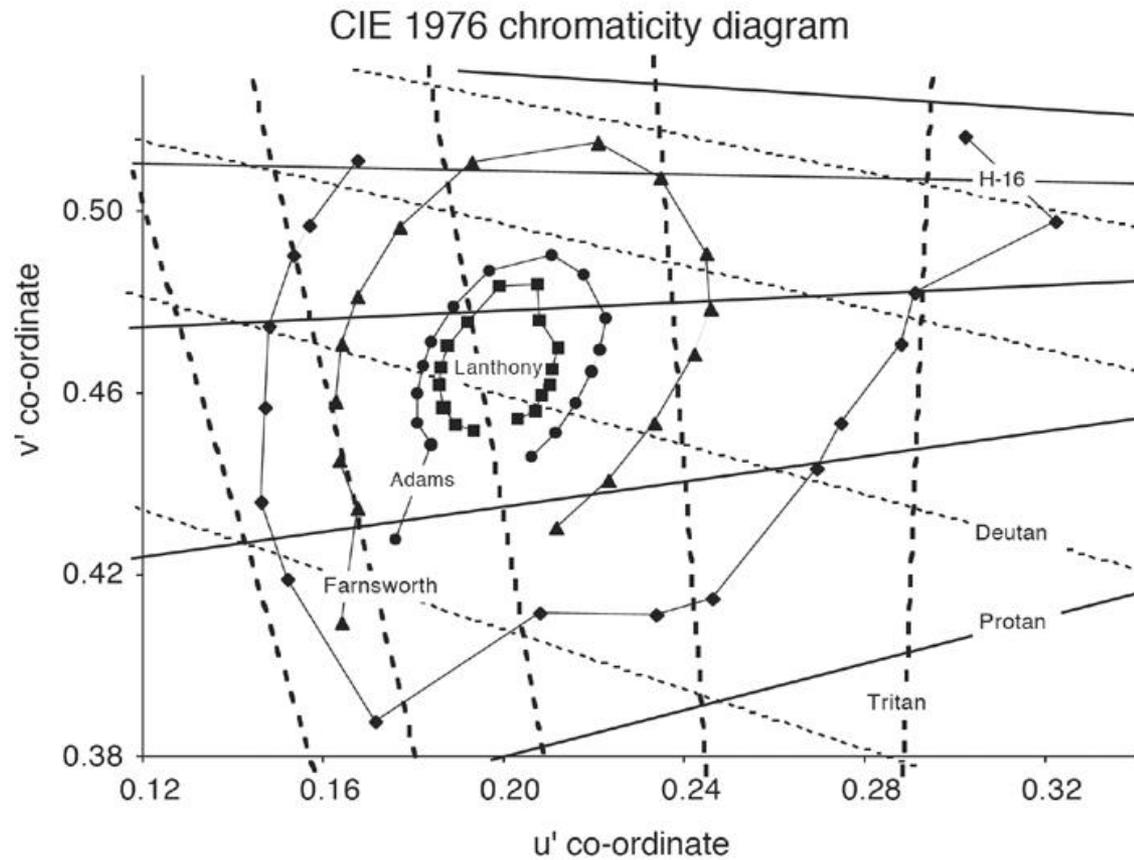
Farnsworth D-15



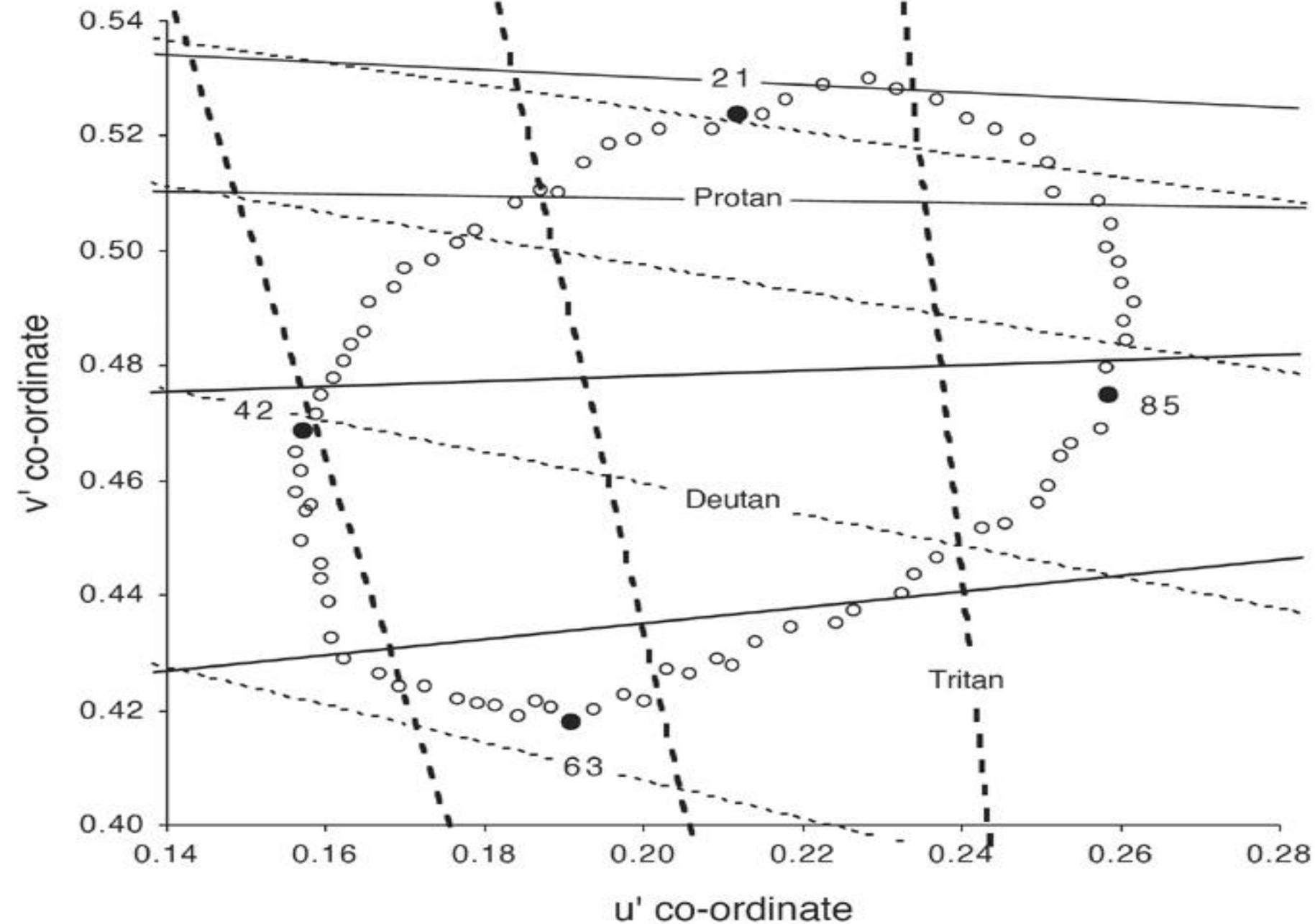
Farnsworth D-15



Test di arrangiamento

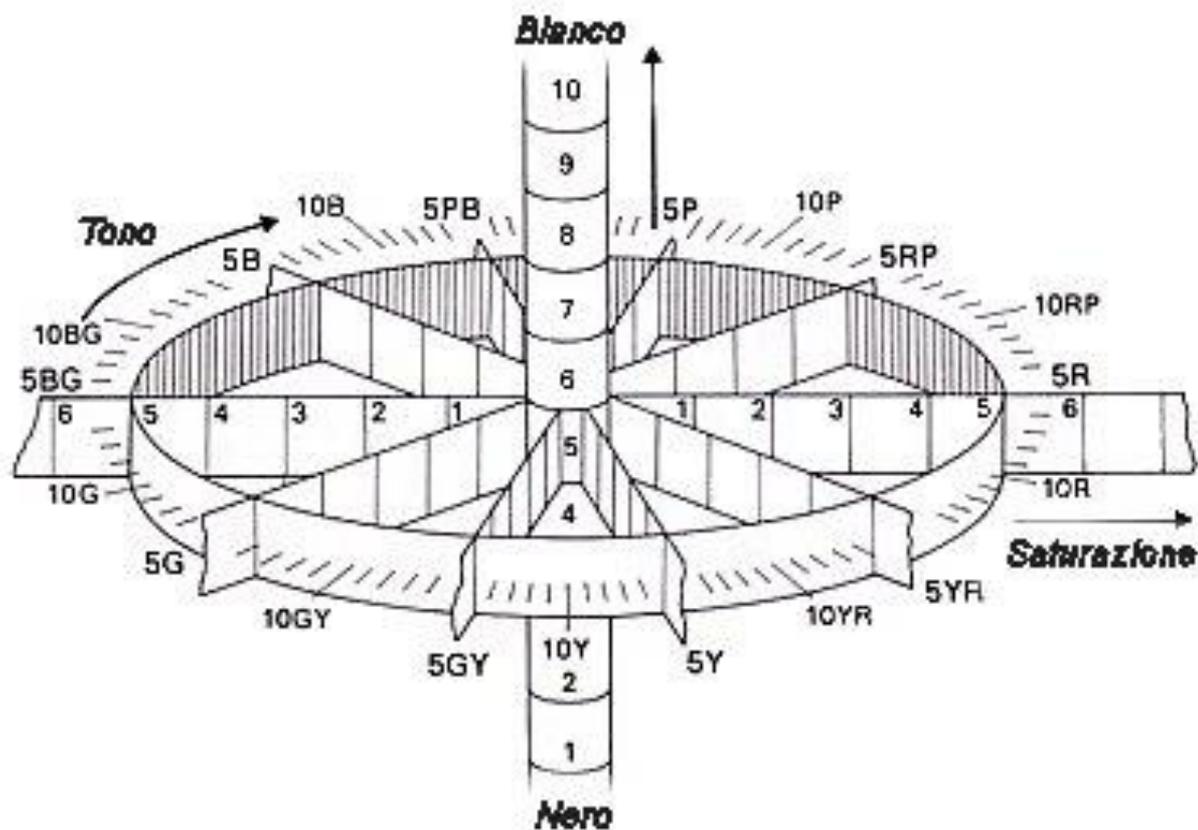


CIE 1976 chromaticity diagram

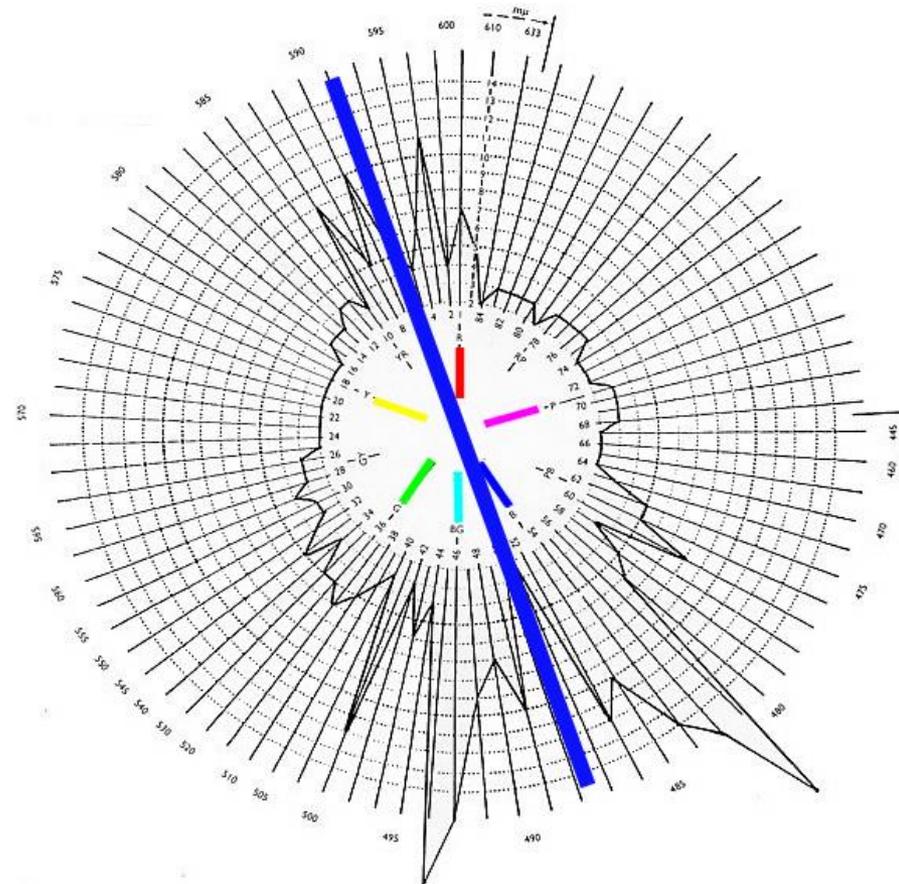


La Natura della Luce

- Classificazione cromatica di Munsell

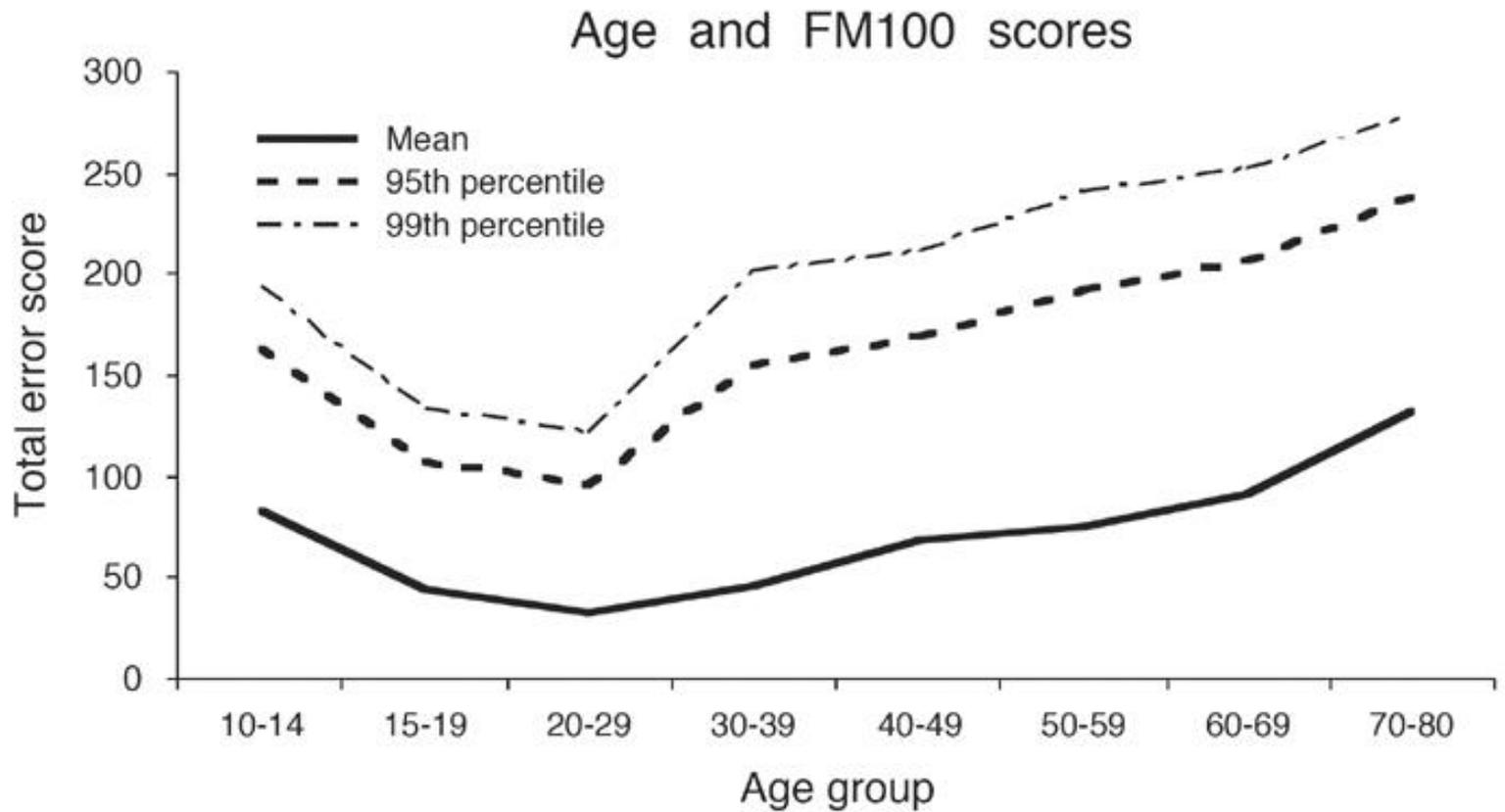


FMD-100 Hue

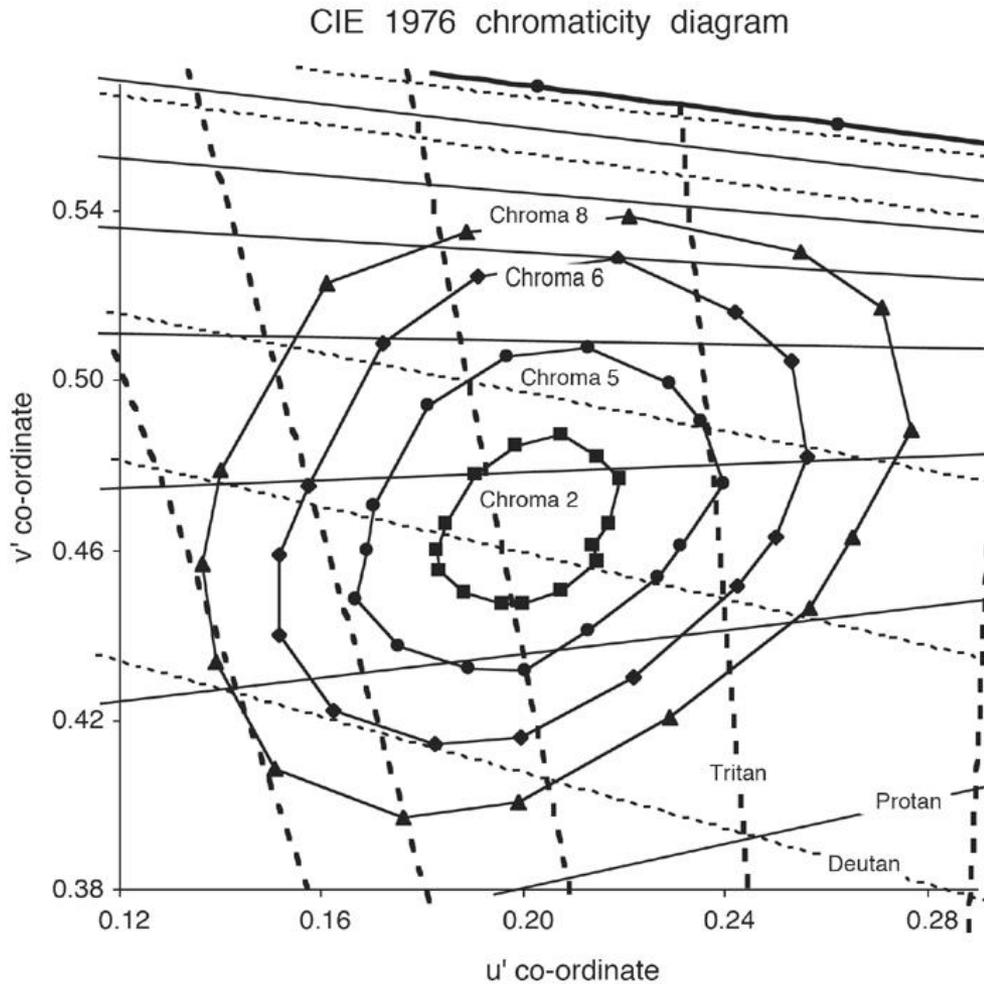


www.opticaldiagnostics.com/products/cvr/index.html

Punteggi correlati all'età

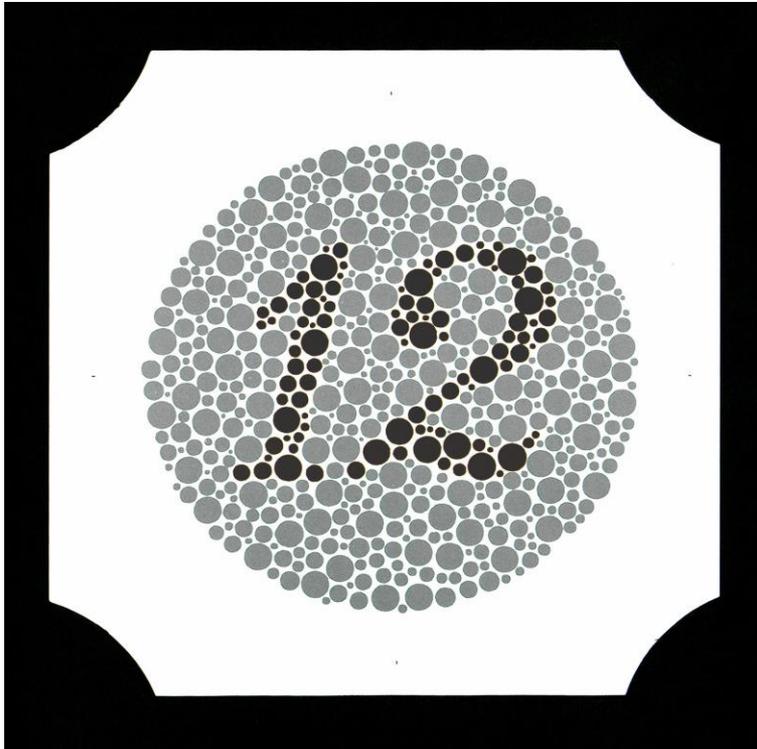


Lanthony New Colour Test



I Nostri Test

- Ishihara's Tests for Ocular Deficiency



ISHIHARA'S TESTS
FOR
COLOUR DEFICIENCY

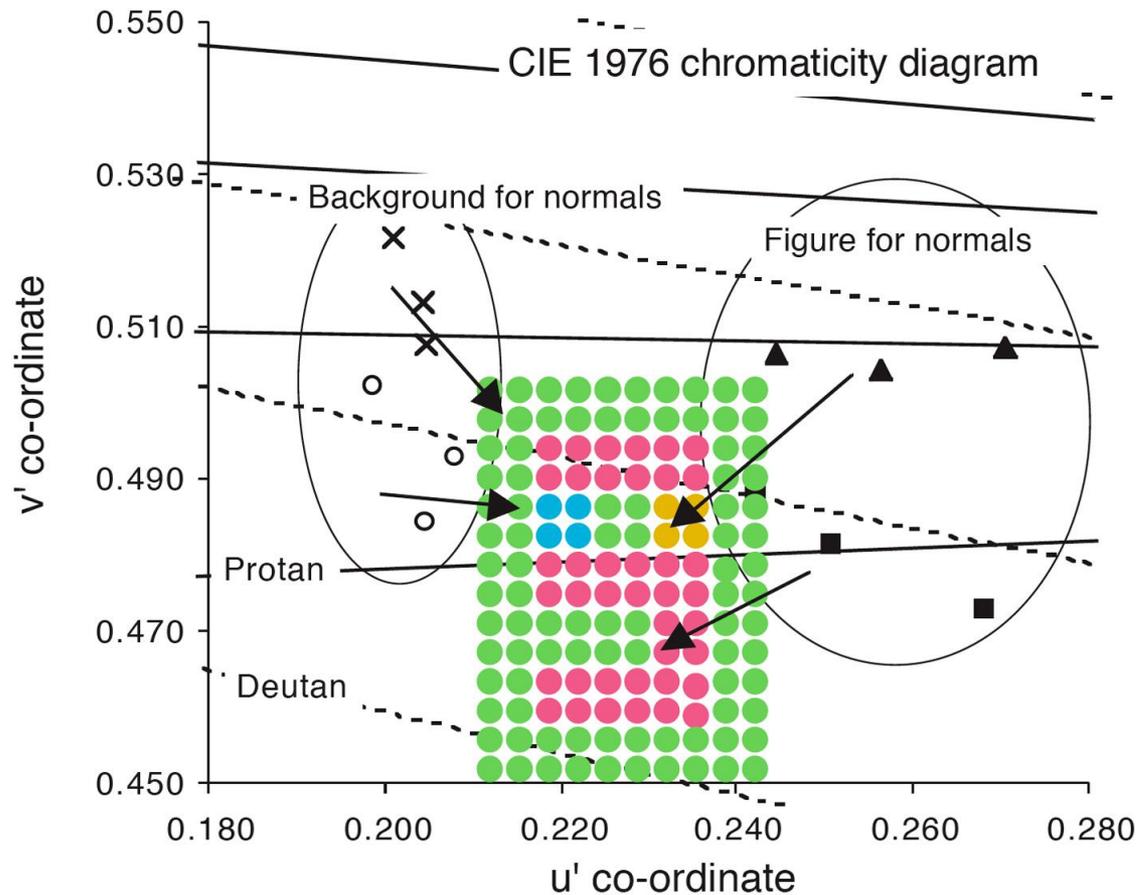
38 Plates Edition

1997

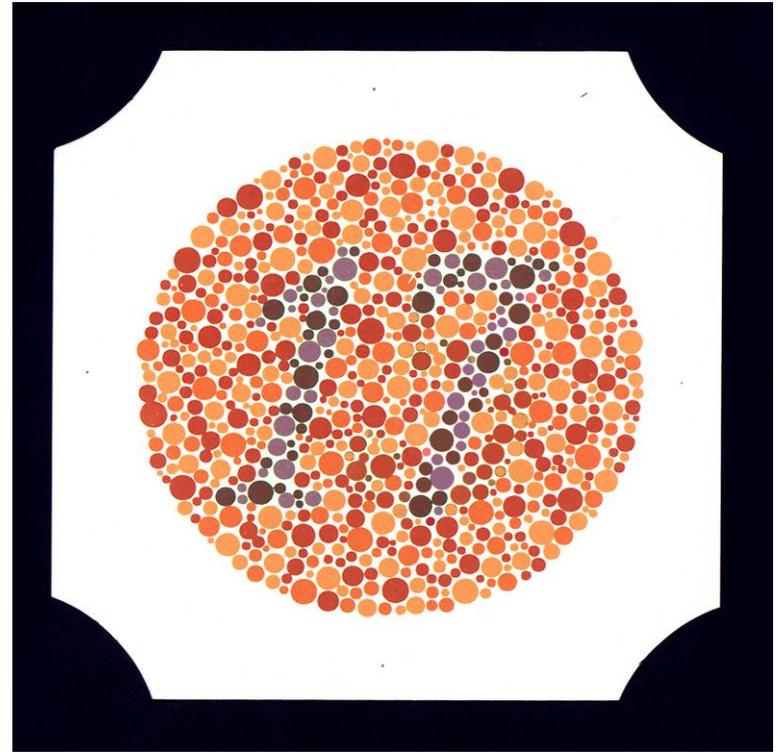
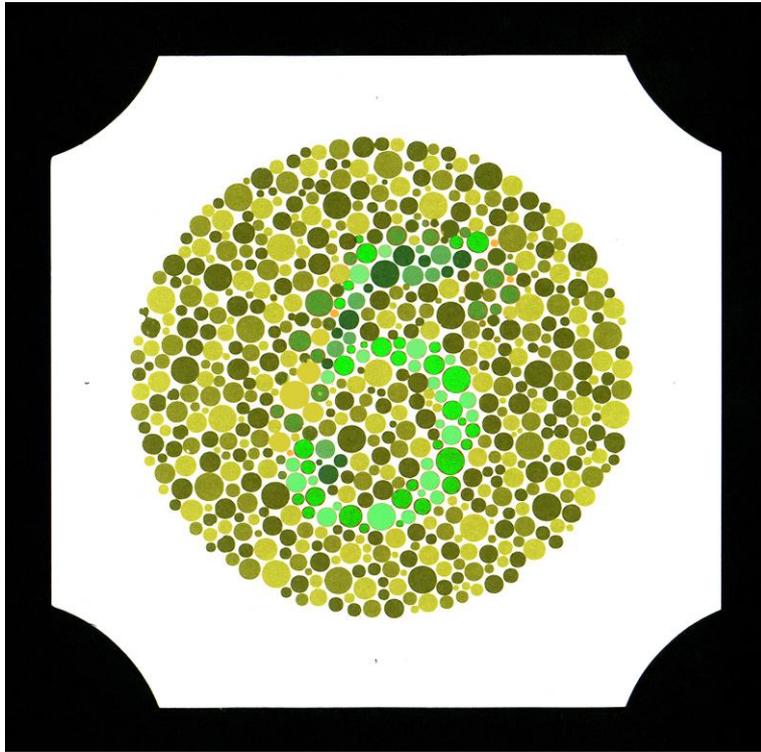


KANEHARA & CO., LTD.
TOKYO - JAPAN

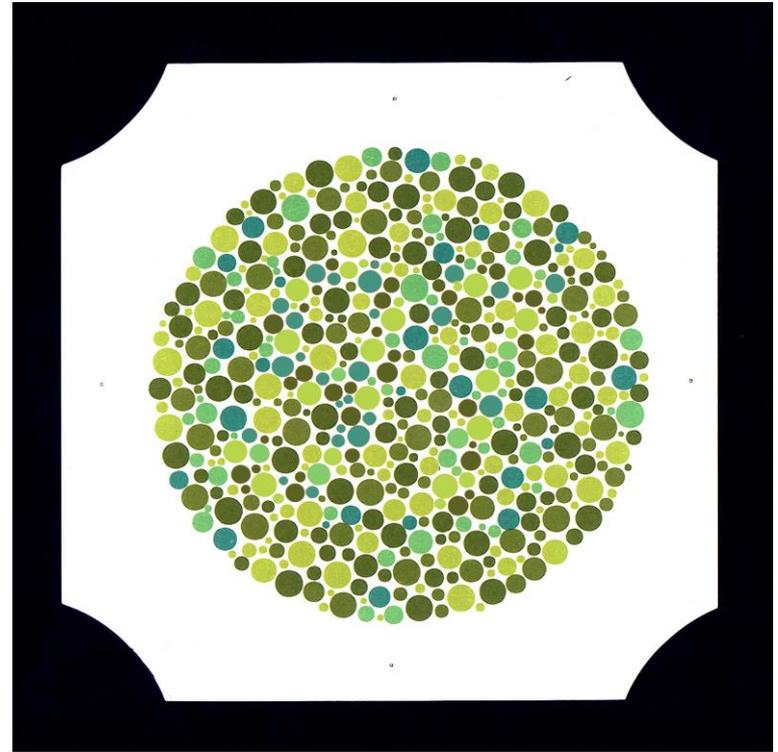
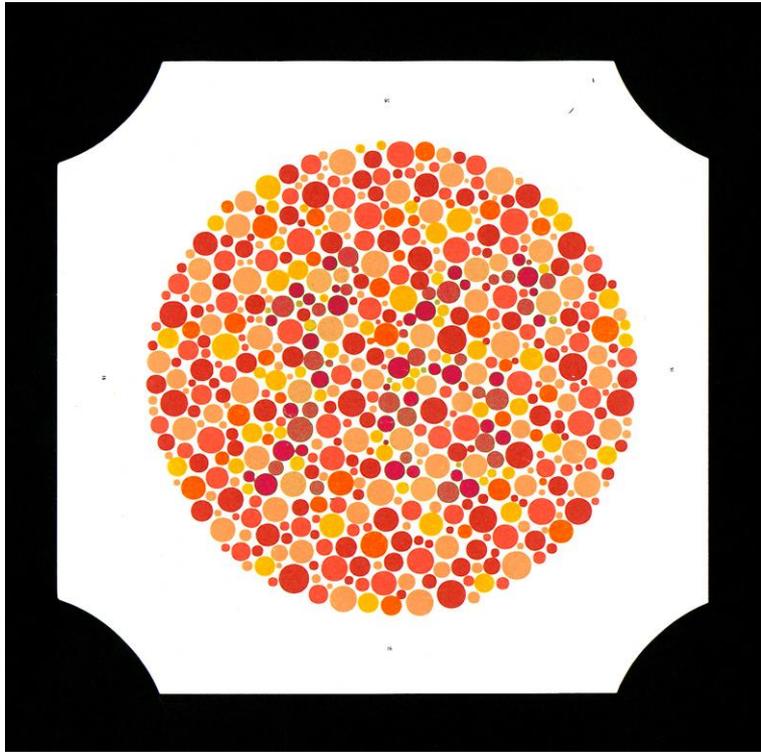
I Nostri Test



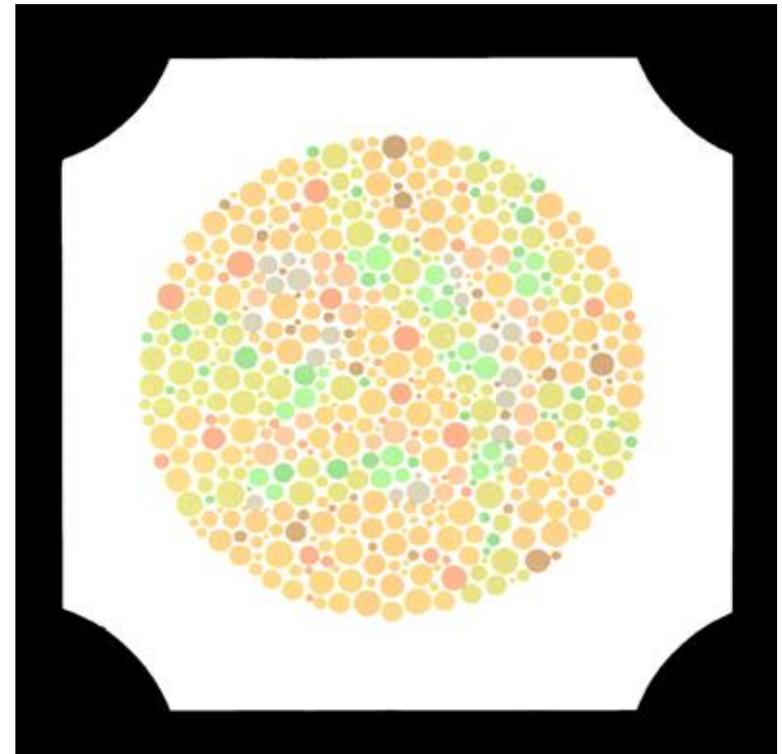
I Nostrí Test



I Nostri Test

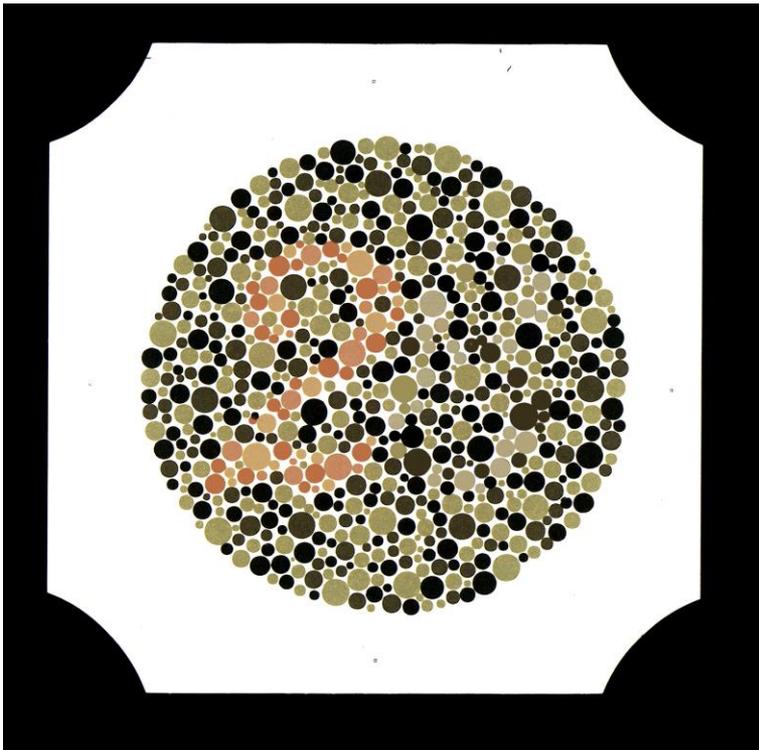


I Nostri Test



I Nostri Test

○ Il significato di questa tavola:



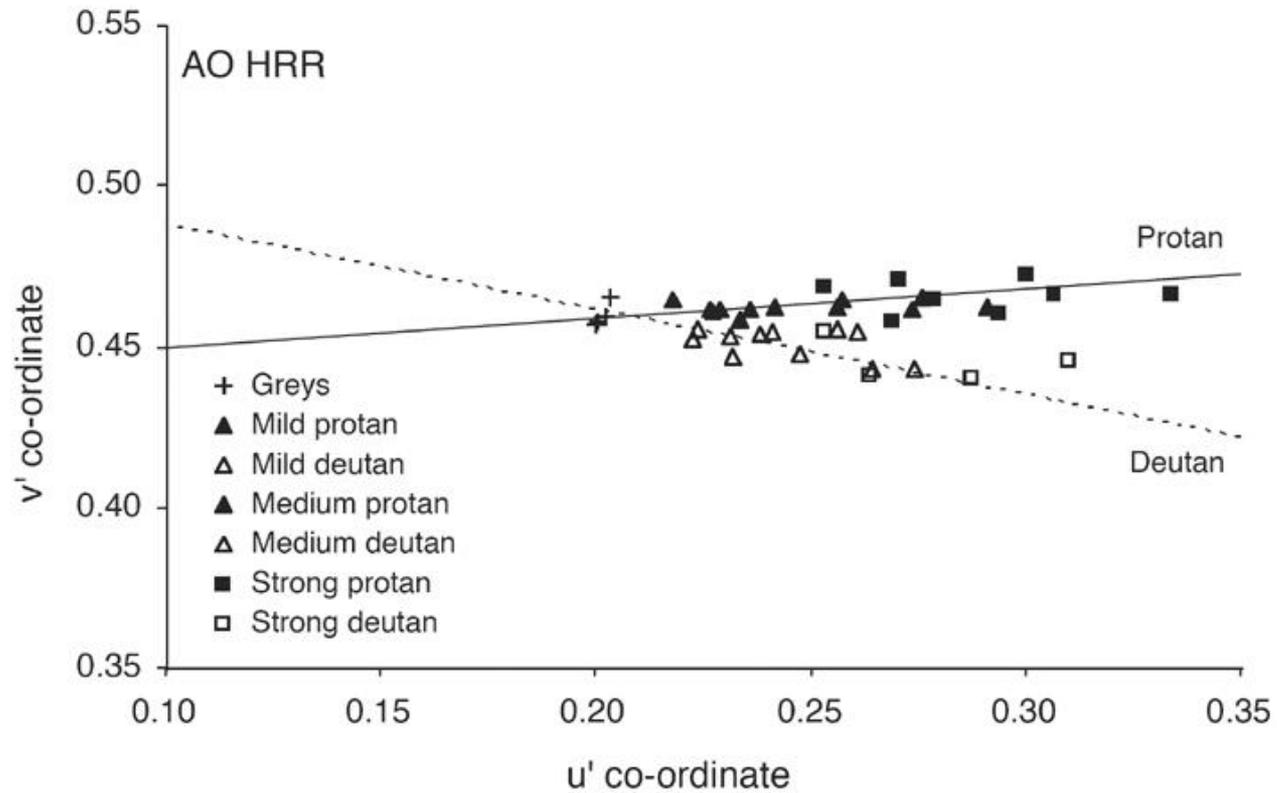
- Protanope medio
- Protanope forte
- Deuteranope medio
- Deuteranope forte

I Nostrí Test

- HRR



AO HRR



Confronto tra test

Prodotto	Screening?	Congeniti	Acquisiti	Abilità nel classificare	Determinare l'estensione	Numero di Tavole	Versioni Pediatriche	Tempo di esecuzione
City University	Si	Si	Si	Si	No	10	No	Medio
Dvorine	Si	Si	No	No	No	23	No	Medio
Hahn Type A		Si	Si	Si	Si	21	Separate	Medio
HRR 4th Edition	Si	Si	Si	Si	Si	24	Si	Veloce
Ishihara (versione 28 tavole)	Si	Si	No	No	No	24	Separata	Veloce
L'Anthony Tritan Album	Si	No	Si	No	Si	5	No	Veloce
SPP1	Si	Si	No	Si	No	19	No	Lento
SPP2	Si	Some	Si	Si	No	12	No	Lento
Farnsworth D15 Color Test	No	Si	Si	Si	Medio/ Forte	16 tappi	Si	Medio/Lento
L'Anthony 15 Color Test	No	Si	Si	Si	Solo lieve	16 tappi	No	Lento

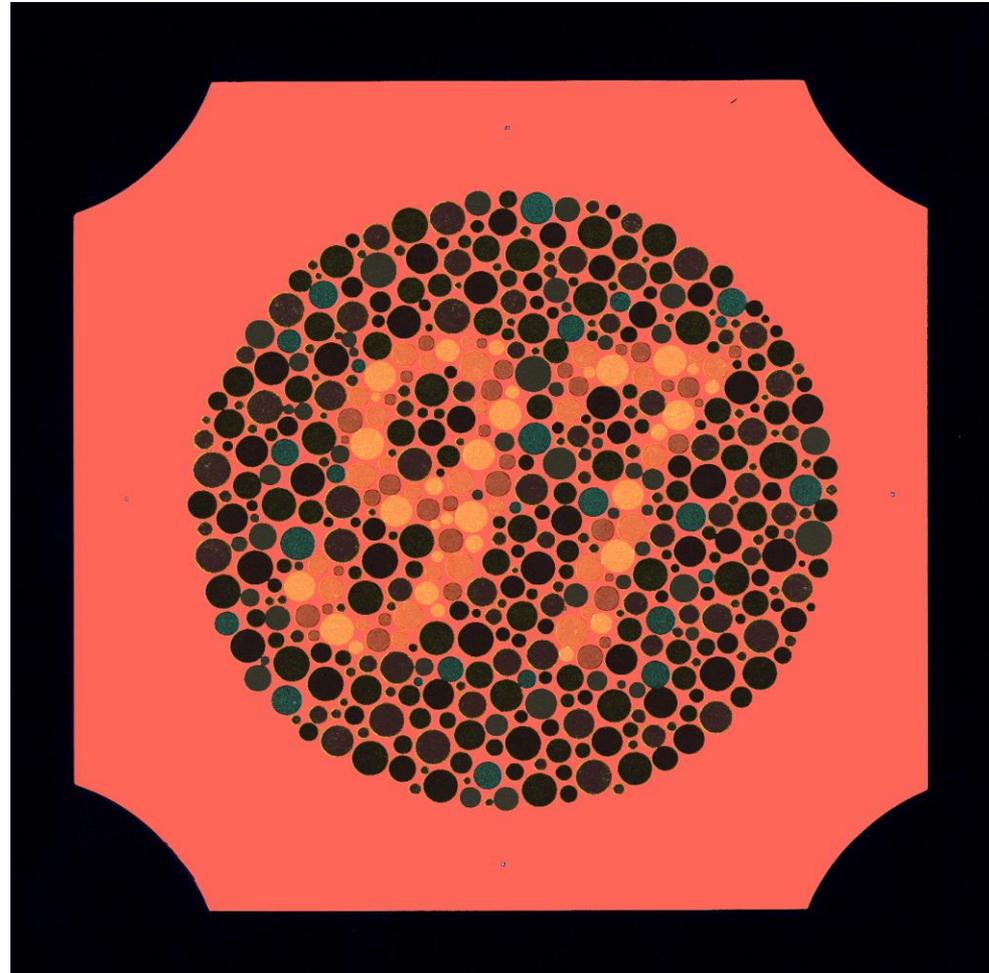
I Nostri Test

- L'importanza nell'eseguire questi Test, è nella prevenzione, cioè sospettare la presenza di una patologia non rilevabile da altri Test
 - ~ In caso di esito positivo inviare il paziente dallo specialista competente
 - ~ In caso di esito negativo dare la corretta informazione riguardante il suo stato percettivo.
- Nel caso di una protanopia o deuteranopia si può consigliare una lente a contatto X-Chrome (lente rigida di colore magenta, $t = 590/700$ nm)

Soluzioni



Soluzioni



Breve bibliografía

- Newton I., "New Theory About Light and Colors" in Philosophical transactions of the Royal Society of London, lettera del: 19 febbraio 1672
- YOUNG T., "On the theory of light and colours" in Philosophical transactions of the Royal Society of London, 1802, 92: 12-48
- Lee, Barry B. "The evolution of concepts of color vision." Neurociencias vol. 4,4 (2008): 209-224
- Milic, Neda & Hoffmann, Miklós & Tómacs, Tibor & Novaković, Dragoljub & Milosavljević, Branko., "A Content-Dependent Naturalness-Preserving Daltonization Method for Dichromatic and Anomalous Trichromatic Color Vision Deficiencies." Journal of Imaging Science and Technology. 2005, 59. 105041-1050410.
- Knoblauch K, Normal and Defective Colour Vision. Oxford-England, Oxford University Press; 2003. p 347-353.
- OLEARI C., Misurare il colore, Milano, Hoepli, 1998
- STEPHEN J. DAIN, "Clinical Colour Vision Tests", in Clin Exp Optom, 2004; 87: 4-5: 276-293
- Simunovic MP. Acquired color vision deficiency. Surv Ophthalmol. 2016 Mar-Apr;61(2):132-55.