

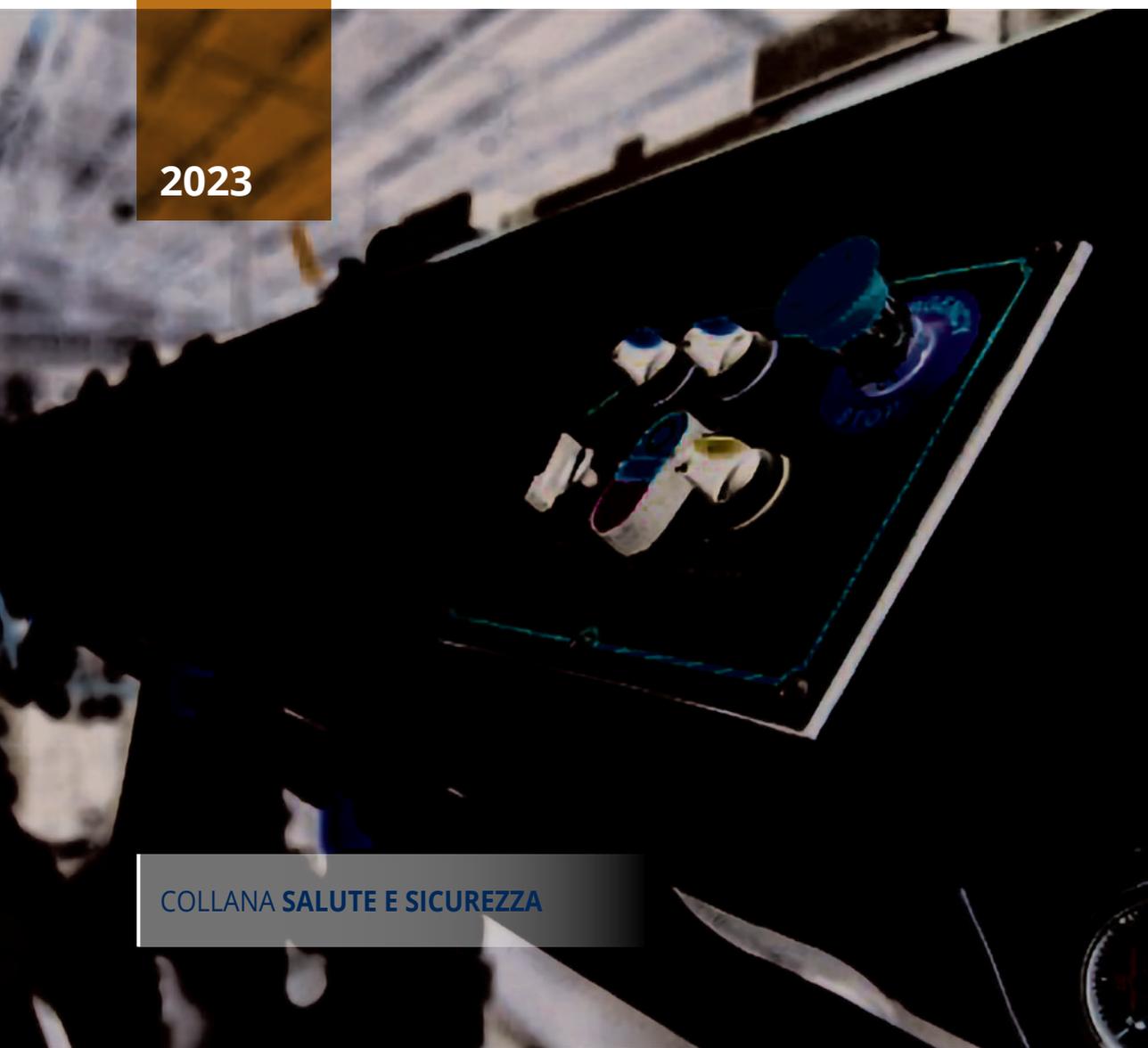
SICUREZZA E INCLUSIONE

INAIL

Analisi e Indicazioni per l'uso del colore
nel codice visivo dei dispositivi di comando
macchine

2023

COLLANA SALUTE E SICUREZZA



SICUREZZA E INCLUSIONE

INAIL

Analisi e Indicazioni per l'uso del colore
nel codice visivo dei dispositivi di comando
macchine

2023

Pubblicazione realizzata da

Inail

Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici (Dit)

Responsabile scientifico

Daniela Freda

Autori

D. Freda¹, F. Valan², A. Farini³, L. Di Donato¹, M. Pirozzi¹, M.V. Zanoni⁴, A. Ferraro¹

¹ Inail, Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici

² Professionista, industrial designer specializzata nella progettazione del colore

³ Istituto Nazionale di Ottica del Consiglio Nazionale delle Ricerche

⁴ Inail, Consulenza tecnica per l'edilizia

per informazioni

Inail - Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici

via Roberto Ferruzzi 38/40 - 00143 Roma

dit@inail.it

www.inail.it

© 2023 Inail

ISBN 978-88-7484-836-2

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nella pubblicazione, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.

Distribuita gratuitamente. Vietata la vendita e la riproduzione con qualsiasi mezzo.

È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

Sommario

Presentazione	5
Premessa	7
IL COLORE	9
La visione del colore e le anomalie	11
<i>Tricromie anomale</i>	12
<i>Dicromie</i>	14
Daltonismo: svantaggi sociali e inabilità al lavoro	17
La misura del colore	20
I DISPOSITIVI DI COMANDO	21
Dispositivi di comando	23
<i>Segnalazioni di allarme e avvertenze</i>	24
<i>Il codice visivo nei dispositivi di comando</i>	25
<i>Esempi di visione cromatica alterata</i>	29
Indicazioni cromatiche per l'uso del colore nel dispositivo di comando	32
Anomalie della visione del colore e lenti filtranti	40
Anomalie della visione del colore acquisite	42
Colore e luce incidente	43
Conclusione	44
Bibliografia	46
<i>Legislazione e norme</i>	46
<i>Documenti scientifici</i>	46
Elenco Figure	47
Elenco Tabelle	48

Presentazione

La Legge 227 del 22 dicembre 2021 Delega al Governo per il riassetto delle disposizioni vigenti in materia di disabilità, ha avviato un processo di revisione, riordino e semplificazione della normativa di settore che mira a garantire parità di diritti nella vita come nel lavoro. In un luogo di lavoro, l'integrazione e l'inclusione si realizzano attraverso interventi atti a garantire l'effettiva accessibilità e usabilità degli spazi, delle attrezzature e dei prodotti con cui il lavoratore deve interagire.

Il testo unico sulla sicurezza e salute dei lavoratori specifica che la valutazione e gestione dei rischi deve riguardare tutti i rischi, ivi compresi quelli riguardanti gruppi di lavoratori esposti a rischi particolari. Pertanto, vanno individuati anche i potenziali rischi connessi alla presenza di barriere di diversa natura che possano in qualche modo ostacolare o rendere difficile "l'interazione" con l'ambiente di lavoro, la postazione, l'attrezzatura di lavoro, aumentando la fatica fisica o mentale e facilitando l'infortunio.

Questo significa riconoscere la presenza non solo del "rischio" ma anche delle categorie di lavoratori più "esposti" all'interno del proprio ambiente di lavoro; ovvero comporta l'onere per il Datore di lavoro di riconoscere le varie fragilità (diversità) ed intervenire per assicurare condizioni di sicurezza per tutti. Senza inclusione non c'è sicurezza.

Scegliere ambienti, prodotti e tecnologie progettati secondo un approccio *design for all* agevola il Datore di Lavoro e contribuisce alla realizzazione di un ambiente sicuro per tutti: eliminando o indebolendo a monte barriere che impediscono lo svolgimento delle attività o lo rendono più difficoltoso, si riduce la necessità di uno sforzo eccessivo che può portare ad affaticamento o infortuni.

Il Dipartimento di Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti Ed Insedimenti Antropici, avvalendosi del Laboratorio Sicurezza degli Impianti di Trasformazione e Produzione, ha realizzato questo documento dedicato agli ambienti industriali e, in particolare, all'uso del colore nel codice visivo dei dispositivi di comando macchine per il superamento di alcune disabilità visive.

Ing. Corrado delle Site
Direttore del Dipartimento innovazioni tecnologiche
e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici

Premessa

Dati statistici riferiscono che nella popolazione europea circa l'8% dei maschi e l'1% delle donne sono affetti da cecità parziale ai colori, comunemente detta *Daltonismo*. Questi valori ci suggeriscono di non trascurare tali "gruppi di lavoratori" e di evidenziare i contesti lavorativi in cui questi soggetti possono essere esposti a particolari rischi o, semplicemente, possano trovarsi in condizioni sfavorevoli rispetto alla condizione di normalità.

Attualmente, il daltonismo non è riconosciuto come condizione di disabilità e pertanto chi soffre di questa anomalia visiva non gode di particolari agevolazioni: non può beneficiare dell'invalidità, non essendo tale inabilità riconosciuta come malattia invalidante e non può usufruire di un collocamento mirato previsto solo per chi ha una percentuale di invalidità di almeno il 46%, né può usufruire di detrazioni fiscali per acquisto di lenti correttive.

Tuttavia il Daltonismo è una condizione che preclude l'accesso ad alcuni lavori. Allo stesso tempo capita che ad un lavoratore con anomalia cromatica venga assegnato un compito in cui il riconoscimento del colore è una misura di prevenzione e sicurezza.

Lo scopo di questo lavoro è evidenziare la possibile inefficacia della misura e fornire indicazioni tecniche in grado di riconosce e ridurre tale rischio.

Nello specifico, in questo volume, sono presi in considerazione ambienti di lavoro di natura industriale, dove il lavoratore si interfaccia con dispositivi di comando macchine dotati di segnali visivi di emergenza e di utilizzo per i quali esiste un codice di codifica.

Nel primo capitolo è trattato il colore, le sue qualità fisiche, i sistemi colorimetrici, ed evidenziata la diversa visione in caso di daltonismo. Nel capitolo successivo, dedicato ai dispositivi di comando, sono messe a fuoco le diverse indicazioni di norma sull'uso del colore nel codice visivo e le implicazioni in caso di visione anomala. Alla fine, sono raccolte le raccomandazioni per ridurre lo svantaggio rispetto alla normalità in cui può trovarsi un lavoratore "daltonico" in un ambiente industriale.

IL COLORE



La visione del colore e le anomalie

La visione del colore è la capacità di discriminare gli oggetti in base alla lunghezza d'onda della luce che riflettono. In genere si individuano due stadi nella visione del colore: il primo avviene sulla retina mentre il secondo può essere definito postretinico. Sulla retina la percezione cromatica coinvolge dei recettori specializzati nella visione cromatica, chiamati coni.

Esistono tre tipi di coni, a seconda della lunghezza d'onda a cui sono sensibili (*Figura 1*): vi sono i coni denominati S (short) che sono maggiormente sensibili alle corte lunghezze d'onda, quelli M (medium) con una maggiore sensibilità sulle lunghezze d'onda medie e quelli L (long) che sono sensibili alle lunghe lunghezze d'onda.

In italiano si definisce comunemente *Daltonismo* (perché il noto chimico Dalton fu uno dei primi a studiare un'anomalia di cui egli stesso era affetto) o discromatopsia l'alterazione della percezione cromatica dovuta alla mancanza o alterazione di uno dei tre recettori delegati alla visione del colore.

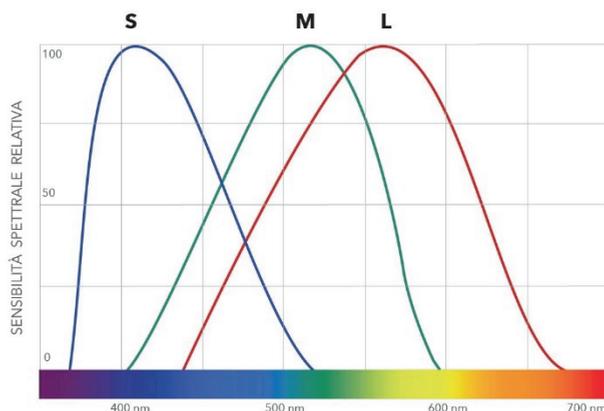


Figura 1 Curve di assorbimento dei tre tipi di coni presenti sulla retina

La discromatopsia si annovera tra le disabilità visive che possono compromettere il sicuro svolgimento dell'attività in quanto, alterando le capacità visive dei lavoratori, può diventare fonte di errori durante l'attività.

Solitamente tali anomalie sono dovute a mutazioni di geni e colpiscono prevalentemente la popolazione maschile, essendo, almeno nel caso delle anomalie che affliggono il rosso e il verde, la trasmissione recessiva legata al cromosoma "X". Esistono forme non genetiche dovute a degenerazioni retiniche,

tossicità da farmaci o traumi retinici a cui sarà dedicato un breve paragrafo alla fine del testo (vedi *Anomalie della visione del colore acquisite*).

Le discromatopsie si dividono, secondo la definizione classica data da Von Kries nel 1897, in quattro categorie.

Due di esse, il *monocromatismo tipico* da bastoncelli in cui mancano tutti i coni e il *monocromatismo atipico* in cui è presente un solo cono, sono sempre accompagnate da altre problematiche che non riguardano la visione del colore e non sono quindi qui prese in considerazione.

Le due categorie, che sono invece di interesse per questa pubblicazione, sono le Tricromie anomale (*Protoanomalia*, *Deuteroanomalia*, *Tritanomalia*) in cui la sensibilità spettrale di uno dei tre coni è ridotta o spostata e le Dicromie (*Protanopia*, *Deuteranopia*, *Tritanopia*) in cui uno dei coni non funziona o manca.

Tricromie anomale

La Tricromia anomala rappresenta la forma lieve di discromatopsia e si verifica quando uno dei tre fotopigmenti è alterato, in questo caso la visione tricromatica non è totalmente compromessa, ma vi è una riduzione della sensibilità nei confronti dei colori fondamentali: rosso, verde e blu.

Si distinguono tre casi:

- Protoanomalia (Fig.2 a sinistra)
In cui è il cono L a spostarsi verso il cono M e in cui potrebbero esserci difficoltà nei rossi
- Deuteroanomalia (Fig.2 a destra)
In cui è il cono M a spostarsi verso il cono L e in cui potrebbero esserci difficoltà nei verdi
- Tritanomalia
In cui il cono anomalo è il cono S da cui la difficoltà a distinguere il blu, il giallo e il violetto

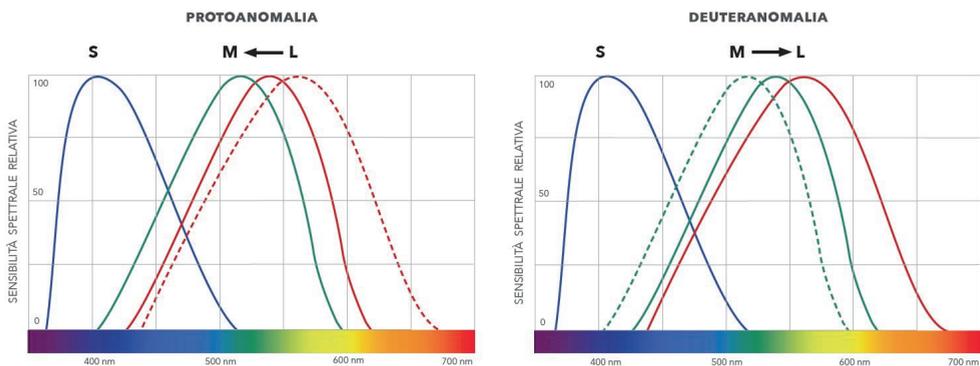


Figura 2 - Esempi di alterazione delle curve di assorbimento nei casi di tricromia anomala: Protoanomalia e Deuteranomalia

Di seguito si riporta a titolo puramente esemplificativo la differente visione tra la visione di un soggetto normale e soggetti affetti da tricromia anomala (Figura 3)

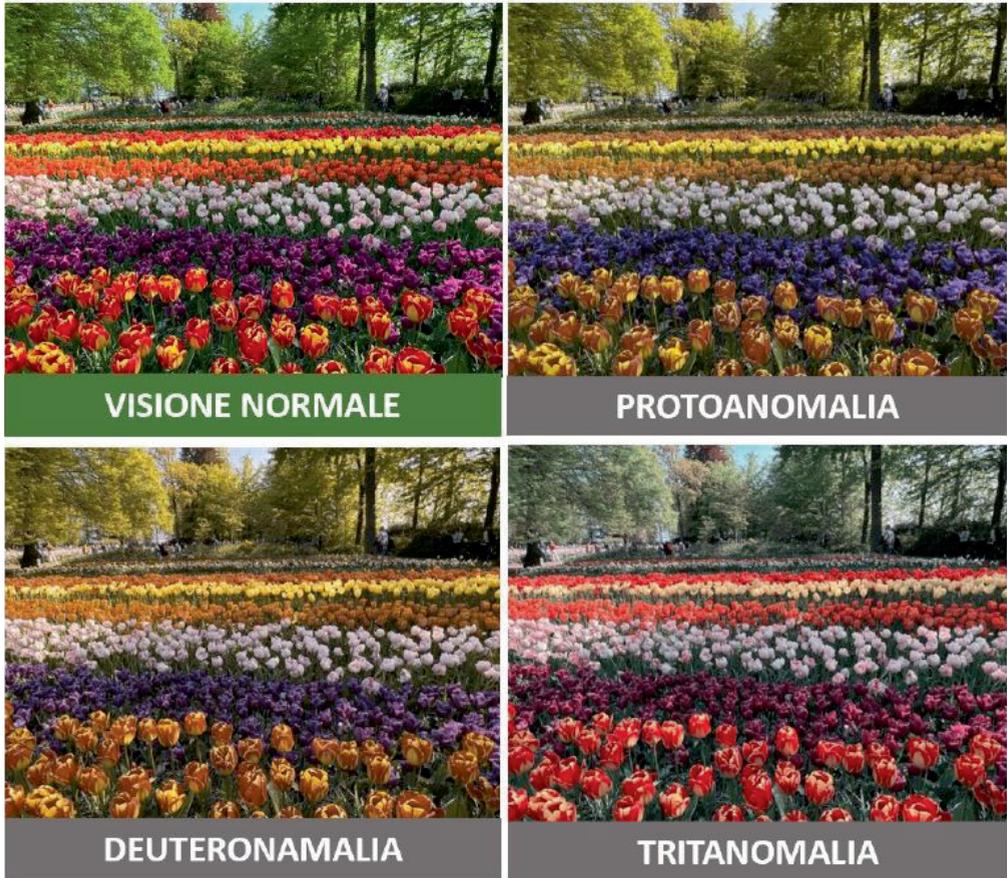


Figura 3 - Comparazione tra la visione di un soggetto normale e di soggetti affetti da anomalie della percezione cromatica quali: protanomialia, deuteranomialia e tritanomialia

Dicromie

Le Dicromie (o daltonismo puro) sono la Protanopia, la Deuteranopia e la Tritanopia. Sono suddivise in base al tipo di cono coinvolto:

- Protanopia (Fig. 4 a sinistra)
In cui è completamente assente il cono L con cecità al rosso
- Deuteranopia (Fig. 4 a destra)
In cui è completamente assente il cono M con cecità al verde
- Tritanopia
In cui è completamente assente il cono S. con cecità al blu e al giallo. È la forma più rara (circa un caso su 10.000 persone) e non è associata al cromosoma X.

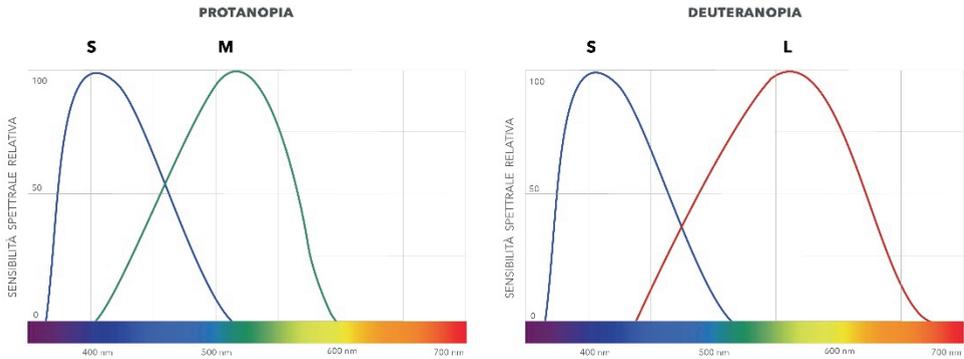


Figura 4 - Esempi di alterazione delle curve di assorbimento nei casi di dicromia: Protanopia e Deuteranopia

Di seguito si riporta a titolo puramente esemplificativo la differente visione tra la visione di un soggetto normale e soggetti affetti da dicromia (Figura 5)

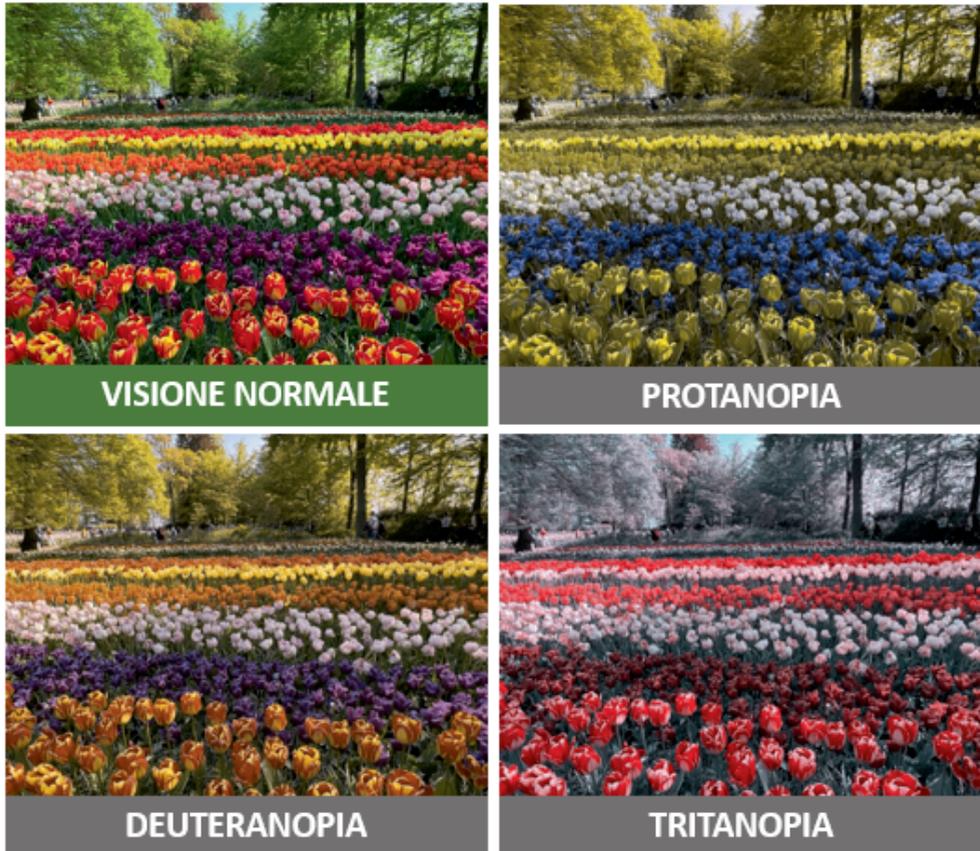


Figura 5 - Comparazione tra la visione di un soggetto normale e di soggetti affetti da anomalie della percezione cromatica quali: protanopia, deuteranopia e tritanopia

Statisticamente i casi di daltonismo più numerosi riguardano le Tricromie anomale quali Protanomalia e Deuteranomalia; in questi casi le differenze di tinta, in particolare tra verde e rosso, vengono percepite solo se i colori sono molto saturi.

La forma più comune è la Deuteranopia e colpisce molto più spesso i maschi. Nella popolazione europea circa l'8% dei maschi e l'1% delle donne sono affetti da cecità parziale ai colori (Tabella 1).

TIPO DI ANOMALIA	% NEI MASCHI	% NELLE FEMMINE
Tricromie anomale		
<u>Protanomalia</u>	<u>1.08</u>	<u>0.03</u>
<u>Deuteranomalia</u>	<u>4.63</u>	<u>0.35</u>
<u>Tritanomalia</u>	<u>Come tritanopia</u>	<u>Come tritanopia</u>
Dicromie		
<u>Protanopia</u>	<u>1.01</u>	<u>0.01</u>
<u>Deuteranopia</u>	<u>1.27</u>	<u>0.01</u>
<u>Tritanopia</u>	<u>0.01</u>	<u>0.01</u>

Tabella 1 - Incidenza delle Tricromie anomale e Dicromie nella popolazione mondiale (fonte Simunovic, M. P.)

Daltonismo: svantaggi sociali e inabilità al lavoro

Le persone con anomalie della visione del colore possono incontrare difficoltà nella vita quotidiana e nel lavoro (Figura 6).

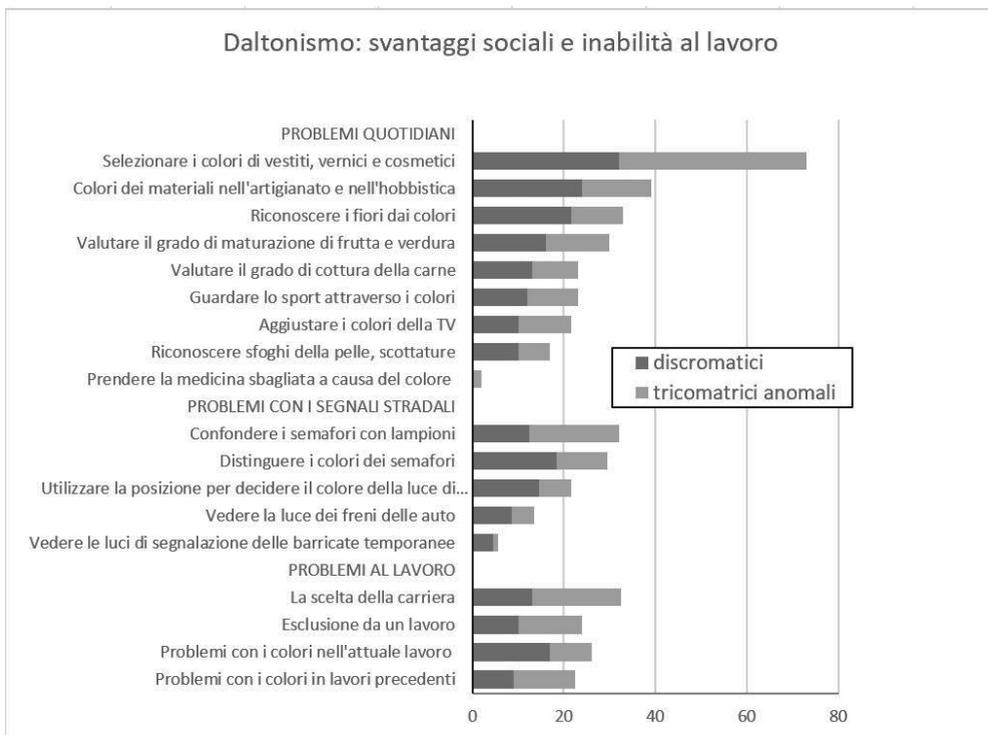


Figura 6 - Percentuale delle difficoltà quotidiane riportate dai soggetti affetti da discromatopsia (fonte B.L. Cole et al, 2004)

Sono certamente svantaggiate (rispetto a quello che è considerata la normalità) quando sono richiesti compiti che richiedono la discriminazione comparativa del colore: per esempio quando il colore viene utilizzato per codificare le informazioni, come nei codici colore creati dall'uomo (es. wayfinding, leggende cartografiche, etc.) o nei codici colore presenti in natura (es. maturità della frutta, malattia, etc.). Ancora, perdono il vantaggio dell'uso del colore per contrassegnare oggetti e organizzare display o layout visivi complessi. Di questo è necessario tenerne conto quando si progettano ambienti di vita e di lavoro.

Come anticipato in premessa, attualmente, pur se non riconosciuta come invalidità, il daltonismo, indipendentemente dalla forma di dicromia, è considerato una condizione che costituisce impedimento a svolgere alcuni lavori.

Una buona visione del colore è considerata essenziale nelle industrie elettriche, fotografiche, di stampa, per gli addetti all'agricoltura, per le forze armate, per i conducenti di trasporti e pertanto ai daltonici è spesso preclusa la possibilità di accedervi.

In Italia, in alcune prove di concorso per ruoli nella Polizia di Stato esistono dei "test per senso cromatico", che irrimediabilmente considerano il daltonismo una disabilità. Questo indica una differenza ad esempio, con la Gran Bretagna, dove gli unici esclusi dal lavoro in polizia sono solo i protanopi. Oltre alle forze armate, vi sono alcune categorie di lavori ai quali non è possibile accedere per legge se affetti da questa patologia (es. aeronautica Regolamento CE n. 216/2008, NI-2020-013 del 15 aprile 2020).

Frequentemente, al daltonico potrebbe essere impedito di lavorare quando il compito da svolgere presuppone il possesso della patente, anche se il regolamento attuativo del codice della strada, per quel che riguarda la visione del colore, recita solo che la persona per poter conseguire la patente debba avere *"senso cromatico sufficiente per distinguere rapidamente e con sicurezza i colori in uso nella segnaletica stradale"*. Si tratta quindi di una definizione assai generica che lascia spazio ad una forte discrezionalità.

In merito a tutto questo è stata presentata, senza successo, una proposta di legge "Disposizioni in materia di pari opportunità di trattamento dei daltonici e delega al Governo per il riassetto e la riforma della normativa in materia".

Fatte queste eccezioni, tale patologia quindi, seppur comporti qualche difficoltà nello svolgere alcune mansioni, diviene ostativa solo se dal Documento di Valutazione dei Rischi¹ derivi la necessità di superare una visita oculistica comprensiva dello specifico test .

Questo significa che in un ambiente di lavoro è possibile trovare un soggetto affetto da daltonismo soprattutto se si considera che alcuni soggetti possono essere inconsapevoli della loro inabilità, specie se lieve.

Al contrario, è possibile che chi soffre di questa patologia venga escluso perché ritenuto non idoneo dal medico competente (MC) in virtù della valutazione dei rischi effettuata (DVR).

È indubbio che una visione del colore normale è una condizione necessaria quando il colore è informazione (ad esempio quando è un'informazione utile ad un processo produttivo). Diventa una condizione imprescindibile quando l'informazione è attinente alla sicurezza. Qualunque sia il messaggio che rappresenti (richiamo dell'attenzione, trasmissione di informazione, riconoscimento di oggetti o percorsi ecc.), per essere efficace, il segnale visivo deve essere chiaramente riconoscibile. Ciò significa che quando il messaggio affidato al solo colore è un'informazione di sicurezza, accertarsi della normale percezione del colore è preclusivo dell'efficacia

¹ TU 81/08 art. 41 comma 2 lettera a

della misura stessa e pertanto, in caso contrario, sarà necessario tenere la cosa in debita considerazione.

In tale contesto, considerando i requisiti previsti dai riferimenti tecnico-normativi esistenti per i codici visivi dei dispositivi di comando macchine, è stato analizzato il codice colore evidenziando le possibili criticità e misure tecniche più efficaci per la riduzione della disabilità visiva-

La misura del colore

Al fine di poter dare indicazioni sulle caratteristiche dei colori da utilizzare per i dispositivi di comando di macchine ed attrezzature di lavoro negli ambienti di lavoro industriale e ridurre al minimo possibile lo svantaggio a carico dei soggetti lavoratori affetti da anomalia cromatica (vedi *Indicazioni cromatiche per l'inclusione*) è necessario chiarire quali sono le caratteristiche fisiche del colore e i relativi sistemi di misura.

Le qualità fisiche che ci permettono di distinguere un colore da un altro sono:

- ✓ La *Tinta*, caratterizzata dalla lunghezza d'onda dello spettro (il rosso ad esempio corrisponde a una lunghezza d'onda di circa 625-740 nm mentre il viola corrisponde a una lunghezza d'onda minore, circa 380-435 nm);
- ✓ La *Luminosità* o *Chiarezza* che permette di distinguere un colore chiaro da uno scuro. Più avanti si farà riferimento alla *Luminanza* che è la qualità misurabile della luce che più corrisponde alla luminosità.
- ✓ La *Saturazione*, che indica la purezza o l'intensità di un colore. Un colore saturo quindi non contiene parti di nero o bianco;

I sistemi colorimetrici si basano sul principio del confronto diretto: il campione in esame si accosta ad un "catalogo di colori" e si determina quello che si avvicina di più.

In generale misurare una grandezza significa stabilire una unità di misura e infine confrontare questa con la grandezza in esame.

Esistono diverse rappresentazioni dello spazio cromatico:

1. Sistema Munsell;
2. Sistema Naturale dei Colori;
3. Sistema CIE (Commission Internationale de l'Eclairage).

Più avanti si farà riferimento al Sistema CIE, richiamato direttamente dalla norma tecnica UNI 7543-2 applicabile ai colori utilizzati per i segnali di sicurezza per diversi materiali.

I DISPOSITIVI DI COMANDO



Dispositivi di comando

I dispositivi di comando costituiscono l'elemento attraverso il quale l'operatore attiva o disattiva le diverse funzioni della macchina e possono essere di diversi tipi: ad esempio, pulsanti, bottoni, leve, interruttori, manopole, cursori, joystick, volanti, pedali, tastiere e schermi tattili.

Possono essere allocati sulla macchina stessa o trovarsi distanti dalla macchina ed essere a questa collegati (comandi remoti), ad esempio, tramite un filo o segnali radio, ottici o sonori.

Essi devono essere chiaramente visibili e individuabili utilizzando, se del caso, pittogrammi; devono essere progettati in modo da permettere l'univoca individuazione delle azioni che sono eseguite in funzione della loro attivazione.

Possono essere "associati" a degli indicatori (con o senza specifici avvertimenti visivi e/o sonori) che forniscono agli operatori informazioni su parametri di funzionamento della macchina come la velocità, il carico, la temperatura o la pressione di parti della macchina. Inoltre, possono dare degli avvertimenti agli operatori quando i parametri pertinenti superano i valori di sicurezza.

I dispositivi di comando, di cui di seguito si riporta un esempio (*Figura 7*), prevedono quasi sempre la presenza di un dispositivo di arresto d'emergenza che, in particolar modo, deve essere chiaramente individuabile e ben visibile, in quanto in casi di emergenza la tempestività di intervento è determinate ai fini della sicurezza.



*Figura 7 – Esempio di interfaccia operatore - dispositivi di comando
(fonte UCIMU - Sistemi per produrre)*

Il dispositivo di comando considerato in questo documento fa parte dell'attrezzatura di lavoro così come definita dall' art. 69 del TU 81/08 che è oggetto di tutte le disposizioni pertinenti del Titolo III dello stesso decreto.

Questo richiede appunto all'art. 70 che le attrezzature di lavoro, e quindi anche le macchine ed i relativi dispositivi di comando, siano conformi:

- ✚ ai requisiti di sicurezza di cui all'Allegato V del T.U 81/08, ed in particolare al punto 2 parte I "Sistemi e dispositivi di comando", se costruiti in assenza di disposizioni legislative e regolamentari di recepimento delle Direttive comunitarie di prodotto e se messe a disposizione dei lavoratori antecedentemente all'emanazione delle stesse oppure in tutti gli altri casi;
- ✚ alle specifiche disposizioni legislative e regolamentari di recepimento delle Direttive comunitarie di prodotto, ovvero nel caso in specie, alla "Direttiva macchine" (direttiva 2006/42/CE).

Segnalazioni di allarme e avvertenze

Il d.lgs 81/08 prescrive che le informazioni, segnalazioni di allarme e le avvertenze di attrezzature o macchine siano ben visibili e comprensibili.

Il d.lgs. 17/10, decreto di recepimento della Direttiva Macchine² attualmente in vigore, conferma tale principio richiedendo la comprensibilità del segnale come requisito di sicurezza da soddisfare.

Si ricorda che le norme armonizzate³ alla Direttiva Macchine, il cui utilizzo e la cui applicazione non è obbligatorio, qualora adottate dal fabbricante, garantiscono il rispetto dei requisiti di sicurezza e di tutela della salute pertinenti.

In generale, le norme tecniche sono rappresentative dello stato dell'arte e contengono indicazioni per soddisfare i requisiti di sicurezza richiesti. Quando, inoltre, è disponibile una norma specifica per la tipologia di macchina, il rispetto delle misure in essa riportate facilita la valutazione dei rischi che il fabbricante è tenuto ad effettuare per stabilire i requisiti di sicurezza e di tutela della salute che concernono la macchina (rif.to articolo 12 e 13 del d.lgs. 17/2010).

Ai fini di questo studio, sono perciò state selezionate le norme che contengono misure atte a soddisfare il requisito di "*comprensibilità del segnale*"; nello specifico,

²Il 29 giugno 2023 è stato pubblicato in GUUE il Regolamento (UE) 2023/1230 relativo alle macchine del 29 giugno 2023, esso si applica a partire dal 14 gennaio 2027. Nulla è cambiato per quanto riguarda i requisiti considerati nel corrente documento

³Le norme armonizzate sono una particolare categoria di norme emesse da organismi di normazione europei a seguito di una richiesta formale da parte della Commissione europea e i cui riferimenti devono essere pubblicati nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea (GUUE); esse stabiliscono uno standard valido in tutto il territorio europeo e quindi nell'ambito di applicazione delle direttive.

sono state prese in considerazione le norme di tipo B⁴ riportate in *tabella 2* contenenti le indicazioni relative ai codici visivi applicabili agli indicatori del dispositivo di comando, in particolare al colore.

EN 60073	<i>Principi fondamentali e di sicurezza per l'interfaccia uomo-macchina, la marcatura e l'identificazione - Principi di codifica per gli indicatori e per gli attuatori</i>
EN 60204-1	<i>Sicurezza del macchinario - Equipaggiamento elettrico delle macchine Parte 1: Regole generali</i>
CEI EN 61310-1	<i>Sicurezza del macchinario Indicazione marcatura e manovra - Prescrizioni per segnali visivi, acustici e tattili - Parte 1: Prescrizioni per segnali visivi, acustici e tattili</i>
EN ISO 13850	<i>Sicurezza del macchinario - funzione di arresto di emergenza - principi di progettazione</i>
UNI 7543-1	<i>Colori e segnali di sicurezza - Parte 1: Prescrizioni generali</i>
UNI 7443-2	<i>Colori e segnali di sicurezza - Parte 2: proprietà colorimetriche e fotometriche dei materiali</i>

Tabella 2 - Norme di riferimento per la definizione dei colori da attribuire a pulsanti e indicatori luminosi

Sono state evidenziate le possibili difficoltà nella decodifica del segnale derivante da inabilità cromatica e proposte misure tecniche di miglioramento per la comprensibilità del segnale per la maggior parte lavoratori.

Il codice visivo nei dispositivi di comando

La guida alla Direttiva Macchine 2006/42/CE ai punti 1.7.1.1 *Informazioni e dispositivi di informazione* e 1.7.1.2 *Dispositivi di allarme*, rimanda alle relative norme della serie EN 61310 contenenti le specifiche per la progettazione.

La norma EN 61310-1 descrive i metodi visivi, acustici e tattili per fornire le informazioni relative alla sicurezza, all'interfaccia uomo-macchina e alle persone esposte e ribadisce che tutti i segnali di sicurezza devono essere progettati in modo che il loro significato sia chiaro ed inequivocabile.

La norma stabilisce quindi una codifica ovvero una rappresentazione sistematica di segnali o valori specificati mediante un altro insieme di segnali che deve

⁴ Gli standard di tipo B trattano aspetti relativi alla sicurezza o mezzi di protezione applicabili su diverse macchine. Tali standard costituiscono un riferimento per i Comitati Tecnici del CEN e del CENELEC per la preparazione di norme di tipo C che trattano i requisiti di sicurezza specifici per un prodotto o per famiglie di prodotto. Le indicazioni contenute nelle norme di tipo B possono quindi essere applicate ad una macchina per la quale non esistano norme per famiglie di prodotto o norme dedicate di prodotto. Si ricorda che, qualora esista una norma per famiglie di prodotto o una norma dedicata di prodotto (norma di tipo C), i requisiti ivi contenuti hanno la precedenza rispetto a quelli contenuti nella norma di tipo B.

rispettare un insieme definito di regole in modo da facilitare l'utilizzo sicuro e il monitoraggio dei macchinari. Stabilire regole per attribuire un significato particolare ad alcune indicazioni visive, acustiche e tattili facilita, tra l'altro, il riconoscimento rapido dello stato della macchina e della posizione degli attuatori. La scelta della codifica dipende dalle attività che deve compiere il personale e dalle condizioni di servizio associate in cui queste devono essere eseguite.

Il codice visivo è uno dei mezzi utilizzato per la codifica delle indicazioni (insieme o in alternativa a i codici acustici e codici tattili) e può essere espresso con colore, forma, posizione e cambiamento delle caratteristiche nel tempo (intermittenza). L'utilizzo del colore e le intermittenze, sono i mezzi visivi più efficaci per attirare l'attenzione.

Proprio per questo, sono utilizzati per significati specifici: i colori per dare una priorità, le intermittenze per attirare l'attenzione.

Il colore, nella sua dimensione della tinta (la norma usa "colore" per richiamare una tinta) quindi è ritenuto il mezzo del codice visivo più efficace perché più rapidamente decodificabile.

Di fatto, è utilizzato, come scelta prioritaria, per messaggi di sicurezza secondo una codifica normata (Tabella 3) e di larga applicazione e conoscenza.

COLORE	SIGNIFICATO		
	Sicurezza delle persone o dell'ambiente	Condizioni del macchinario o del Processo	Stato dell'equipaggiamento
Rosso	<i>Pericolo</i>	<i>Emergenza</i>	<i>Guasto</i>
Arancio/Giallo	<i>Avvertimento /Attenzione</i>	<i>Anormale</i>	<i>Anormale</i>
Verde	<i>Sicurezza</i>	<i>Normale</i>	<i>Normale</i>
Blu	<i>Significato di obbligo</i>		
Bianco Grigio Nero	<i>Nessun significato specifico attribuito</i>		

Tabella 3- CEI EN 60073 Significato dei colori per la codifica

Ovviamente questo sottende che il colore sia facilmente identificabile e distinguibile anche dal colore di fondo e da tutti gli altri colori attribuiti, il che rende doveroso riflettere sulla riconoscibilità dello stesso da parte di operatori con anomalie cromatica.

Questa attenzione è richiesta dalla norma tecnica EN 60073 che raccomanda, qualora siano impiegate persone che non distinguano bene i colori, di utilizzare, oltre al colore, altri mezzi di codifica.

In particolare, quando il messaggio è relativo alla sicurezza di persone, beni ed ambiente, prevede di utilizzare una codifica supplementare⁵.

La norma CEI EN 61310-1 le presenta sia pure in maniera abbastanza generale (Tabella 4).

MEZZI SUPPLEMENTARI	ELEMENTI
Forma	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Caratteri (alfanumerici, pittogrammi, segni grafici, linee)</i> ✓ <i>Forma (tipo di carattere, dimensione, larghezza del tratto)</i> ✓ <i>Struttura (tipo di tratto, ombreggiatura, punteggiatura)</i>
Posizione	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Posizionamento (assoluto, relativo)</i> ✓ <i>Orientamento (con o senza sistema di riferimento)</i>
Tempo	<i>Variazione in funzione del tempo (lampeggiamento):</i> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>luminosità</i> ✓ <i>colore</i> ✓ <i>forma</i> ✓ <i>posizione</i>

Tabella 4 - CEI EN 61310-1 Codifica attraverso mezzi supplementari al colore (codici visivi)

Solo in questo caso, il requisito di comprensibilità viene soddisfatto anche in caso di lavoratori con anomalie cromatiche.

L'uso del mezzo supplementare e relativa codifica è previsto anche quando il messaggio riguarda lo stato delle apparecchiature o la condizione di processo.

Resta evidente che non sempre si è a conoscenza, nella fase di acquisto della macchina, delle abilità sensoriali di tutti i destinatari all'uso così come è noto che la possibilità che un lavoratore possa avere deficit di questo tipo, non è tanto remota, soprattutto nei casi più lievi (Protoanomalia e Deuteroanomalia).

È pertanto auspicabile che in fase di progettazione se ne tenga conto comunque.

Ad ogni modo, i mezzi di codifica utilizzati devono essere resi noti e spiegati nella documentazione associata alla macchina. Devono essere fornite indicazioni sufficienti a permettere che le persone che devono leggere, interpretare e rispondere a tali codici ricevano adeguate istruzioni (punto 5.1 della norma EN 61310-1).

⁵ CEI EN 60073 "Mezzi di codifica supplementare" sono mezzi "in aggiunta" (es. forma in aggiunta al colore)

In merito all'uso del colore nel codice visivo del dispositivo macchina, tuttavia, la norma dà indicazioni sulla tinta da associare ai dispositivi di comando, ma nessuna in merito alle altre caratteristiche necessarie alla sua precisa individuazione: saturazione, luminosità o contrasto⁶ (vedi la *misura del colore*).

Nello specifico, infatti, la norma, per le definizioni esatte dei colori di superficie, rimanda alla ISO 3864-1, a sua volta richiamata dalla UNI 7543-2. Entrambe fanno riferimento al sistema colorimetro CIE 15.2:1996 e forniscono le coordinate cromatiche e di luminanza consentite per i colori dei segnali di sicurezza per diversi materiali (vedi *Indicazioni cromatiche per l'inclusione*).

Un'unica indicazione sul contrasto si riscontra nell'ambito della disposizione della norma EN ISO 13850 dove si legge *che l'attuatore del dispositivo di arresto di emergenza deve essere di colore ROSSO. Se dietro l'attuatore è presente uno sfondo e nella misura in cui sia possibile lo sfondo deve essere di colore GIALLO* (punto 4.3.6 della norma EN ISO 13850). Questa precisazione è molto utile in generale ma ancor di più in presenza di lavoratori "daltonici" che sono sempre abili alla percezione del giallo.

Altre indicazioni si ritrovano per i soli colori utilizzati su video display, dove la norma CEI EN 60073 specifica che, nel caso di significati relativi alla sicurezza, i colori devono essere brillanti, saturi e contrastanti; nel caso di informazioni con basso livello di priorità, i colori possono essere tenui e non saturi.

Come sarà meglio chiarito più avanti, la saturazione è un aspetto molto importante: anche in presenza di soggetti anomali, a meno di casi rari di dicromia (es. protanopia), la saturazione può permettere al soggetto di riconoscere colori anche di tinte che potrebbero essere problematiche (vedi *Indicazioni cromatiche per l'inclusione*).

⁶ *Tinta, tonalità (cromatica)* Attributo di una sensazione visiva secondo cui una superficie sembra presentare uno solo dei colori percepiti, rosso, giallo, verde e blu, oppure una combinazione di due di essi
Saturazione Cromaticità di una superficie valutata in proporzione alla luminosità
Luminosità Attributo di una sensazione visiva secondo cui una superficie sembra che emetta più o meno luce
Contrasto A fini della percezione: valutazione ai sensi della differenza di aspetto tra due o più parti di un campo visto simultaneamente o in sequenza (contrasto di luminanza, contrasto di chiarezza, contrasto di colore, ecc) CEI EN 60073

Esempi di visione cromatica alterata

Di seguito, a scopo esemplificativo, sono riportate immagini del sistema di comando di un prototipo realizzato nell'ambito di un progetto Inail BRIC ID 40 2019, SENERGY "De-energizzazione smart di insiemi di macchine con sistema RFID indossabile", dall'Università di Pisa, Università degli studi di Perugia, Università del Salento e Università di Modena e Reggio Emilia (*Figura 8*).



Figura 8 - BRIC ID 40 2019 SENERGY "De-energizzazione smart di insiemi di macchine con sistema RFID indossabile"

Utilizzando il simulatore Dalton incluso nel software Color Tools (Paglierani, P. and Valan, F. ISBN 978-88-99513-06-1), in grado di passare da una visione tricromatica (visione normale) a una visione dicromatica (protanopia, deuteranopia, tritanopia), sono state realizzate e riportate di seguito immagini dello stesso prototipo e relativi dettagli rappresentativi di una visione inabile del colore associabile alla Protoanomalia (*Figura 9*) o ancora da forme più gravi come la Protanopia (*Figura 10*).



Figura 9 - Confronto tra visione normale e visione protonomala



Figura 10 - Confronto tra visione normale e visione protanopia

Dalle immagini (Figura 9 e Figura 10) si deduce facilmente che il rosso del pulsante di arresto (Stop) così come quello del dispositivo di arresto di emergenza (fungo rosso) appare desaturato e, conseguentemente, gli stessi pulsanti diventano meno visibili e meno facilmente distinguibili dagli altri. Ciò comporta che un soggetto con protoanomalia non riuscirebbe, in assenza di codici supplementari (es. codice alfanumerico, posizione, etc), a riconoscere tempestivamente il pulsante di arresto.

Ancor più evidente nel caso di protanopia, dove il dispositivo di arresto di emergenza si distingue solo per la dimensione (più grande) e per la posizione separata (Figura 11). Forma e posizione supportano la lettura del segnale di emergenza e spesso agevolano il veloce riconoscimento.



Figura 11 - Pulsante di emergenza - Confronto tra visione normale, protoanomala e protanopia

Osservando la differente visione (Figura 12) del colore verde tra soggetto con visione cromatica abile e soggetto con visione alterata (deutenanomalia e deuteranopia) si evince il peso della luce nella percezione del colore: il pulsante verde luminoso di accensione (Power) risulta più visibile dei due pulsanti verdi non luminosi e diventa il tasto con priorità visiva maggiore in tutti i casi di anomalia cromatica.



Figura 12 - Pulsante luminoso e alterazione cromatica

La luce, aumentando i contrasti di chiarezza (luminanza) tra pulsante e fondo, favorisce la percezione dei comandi e la loro differenziazione.

La chiarezza diventa determinante nella percezione dei colori in particolare quando si affiancano due tinte che si trovano su linee di confusione (vedi *Indicazioni cromatiche per l'inclusione*).

Indicazioni cromatiche per l'uso del colore nel dispositivo di comando

Come anticipato, la norma CEI EN 60073 per i colori di superficie, rimanda alla norma ISO 3864-1, richiamata dalla norma UNI 7543-2.

In questo lavoro si fa riferimento alle tabelle riportate in quest'ultima norma per la definizione delle coordinate cromatiche e di luminanza consentite per colori utilizzati per i segnali di sicurezza.

In riferimento a questi, di seguito, sono state messe a fuoco le caratteristiche fisiche specifiche (tinta, saturazione e luminanza) dei colori individuati come codici visivi richiesti.

Per facilità di lettura e quindi di riconoscimento della "gradazione" di colore da parte del progettista e del datore di lavoro, i colori dei pulsanti dei dispositivi di comando macchine relativi alla sicurezza d'uso (rosso, verde, giallo) sono stati tradotti in codici RAL⁷.

Le indicazioni suggerite sono utili al soddisfacimento a alla verifica del requisito di "comprensibilità del segnale" per tutti: sia per i soggetti con abilità cromatica, sia per i soggetti affetti da forme lievi di discromatopsie.

Tinta e saturazione

Per quel che attiene alla tinta, la norma UNI 7543-2 fa riferimento al sistema colorimetrico CIE 15.2:1996 e specifica che le coordinate cromatiche dei colori utilizzate per i segnali di sicurezza sono corrette solo se ricadono all'interno dei rispettivi poligoni di riferimento: V = verde; G= giallo; R= rosso; B/N= bianco e nero; B= blu (Figura 13).

A tale proposito, bisogna ricordare che più i colori sono posizionati, come coordinate cromatiche, vicino alla curva a forma di vela che rappresenta il diagramma CIE, più sono saturi e quindi percepibili anche da soggetti affetti da anomalie visive, in particolare protoanomali e deuteranomali. Quindi, all'interno delle aree delimitate più ci si avvicina al bordo, più i colori sono discriminabili.

⁷ La scala RAL ("Reichs-Ausschuß für Lieferbedingungen und gütesicherung") è una scala di colori normalizzata sviluppata nel 1927 dal Comitato tedesco per i termini e le condizioni di vendita, è utilizzata principalmente da professionisti del settore industriale, automobilistico, edile o della sicurezza stradale

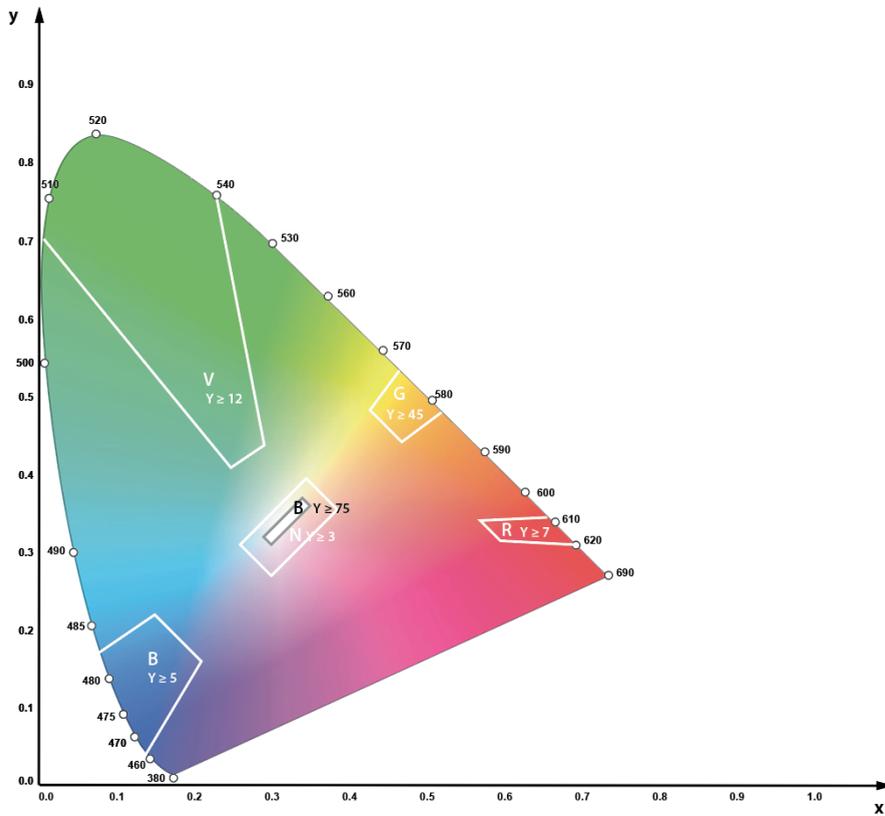


Figura 13 - Delimitazione per colori di materiali ordinari rosso, giallo, verde, blu, bianco e nero

Pulsante Rosso

Con riferimento alla figura 13, l'area R comprende le coordinate cromatiche ammesse per la tinta Rossa, ovvero quelle utilizzabili, secondo la norma UNI 7543-2, per i segnali di sicurezza.

Più il rosso si avvicina alla curva più è saturo e, come già evidenziato, è maggiormente discriminabile anche da soggetti con anomalia cromatica.

A titolo di esempio, sono stati selezionati quattro rossi con diversa saturazione all'interno del limite colorimetrico ed identificati i RAL corrispondenti (Figura 14)

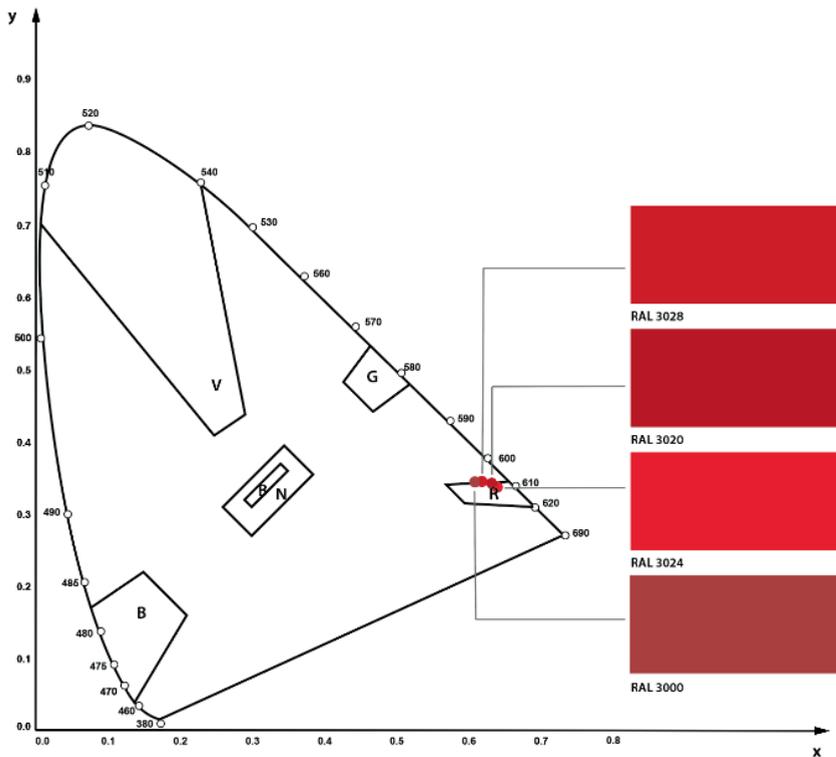


Figura 14 - Tinta ROSSO - coordinate cromatiche ammesse e codici RAL (fonte F. Valan)

Il colore RAL n. 3000, il più lontano dalla curva CIE in fig. 14, è il meno saturo e di conseguenza il meno distinguibile da parte di una persona affetta da tricromia anomala.

Viceversa, il colore RAL 3024, il più vicino alla curva in fig.14, è il più saturo e è il più riconoscibile per la maggior parte delle persone affette da tricromia anomala.

Ciò a dire che progettando un pulsante ROSSO di materiale ordinario è auspicabile fare riferimento a quest'ultimo; in tal caso, infatti, solo i protanopi puri (privi cioè completamente del cono L) sono esclusi dalla possibilità di discriminarlo (in questi casi, tutti i rossi, indipendentemente dalla saturazione, appaiono grigi).

Pulsante Verde

L'area V comprende le coordinate cromatiche ammesse per la tinta Verde, cioè quelle utilizzabili, secondo la norma UNI 7543-2, per i segnali di sicurezza. A titolo

di esempio, sono stati selezionati quattro verdi con diversa saturazione e identificati i RAL corrispondenti (Figura 15).

Per il Verde, come per il Rosso, la saturazione è direttamente proporzionale alla capacità di discriminazione della tinta.

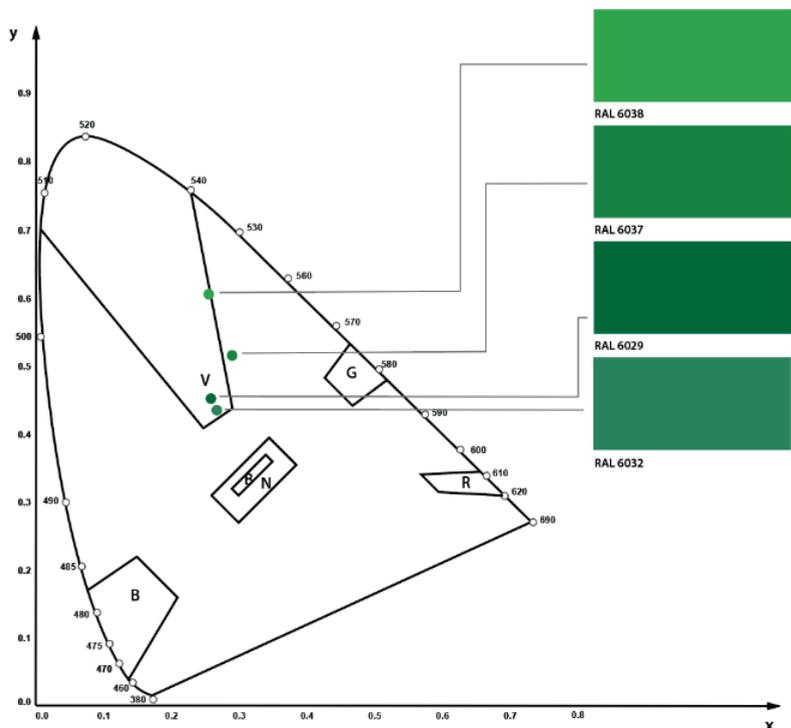


Figura 15 - Tinta VERDE - coordinate cromatiche ammesse e codici RAL (fonte F. Valan)

Il RAL n. 6038 è il colore più saturo e il più riconoscibile per la maggior parte delle persone affette da tricromia anomala. Sono esclusi dalla possibilità di discriminare questo VERDE solo i deuteranopi puri (privi cioè completamente del cono L) per i quali tutti i verdi indipendentemente dalla saturazione, appaiono grigi.

Questi verdi si riferiscono a tasti non retroilluminati. La luce, posta dietro il pulsante, aumenta notevolmente la saturazione (vedi *Esempi di visione cromatica alterata*).

Per i tasti retroilluminati è comunque importante garantire un buon livello di saturazione e trasparenza del materiale plastico. In alternativa, ad eccezione dell'attuatore per la funzione arresto/disinserzione di emergenza per il quale il

colore rosso deve essere dato dall'attuatore stesso e non deve dipendere dalla sua luce (CEI EN 60073:2003-04) , sarebbe auspicabile utilizzare un led colorato con plastica trasparente.

In conclusione, realizzando pulsanti in materiale ordinario con tinte sature (RAL 3024 per il rosso vs RAL 6038 per il verde) la discriminazione tra le due tinte affiancate è facilitata rispetto al caso in cui le stesse vengono realizzate in tono meno saturo (RAL 3000 per il rosso vs RAL 6032 per il verde) anche da soggetti affetti da anomalia cromatica (*Figura 16*).

Infatti, le prime due righe, mostrano le differenze tra un verde e un rosso ad alta saturazione: le seconde due le differenze tra un verde e un rosso a bassa saturazione.

Si nota come la discriminazione tra i due colori migliora all'aumentare della saturazione. Va comunque precisato che la saturazione del colore dipende anche dalla finitura superficiale del tasto. Le superfici opache appaiono meno sature di quelle lucide.

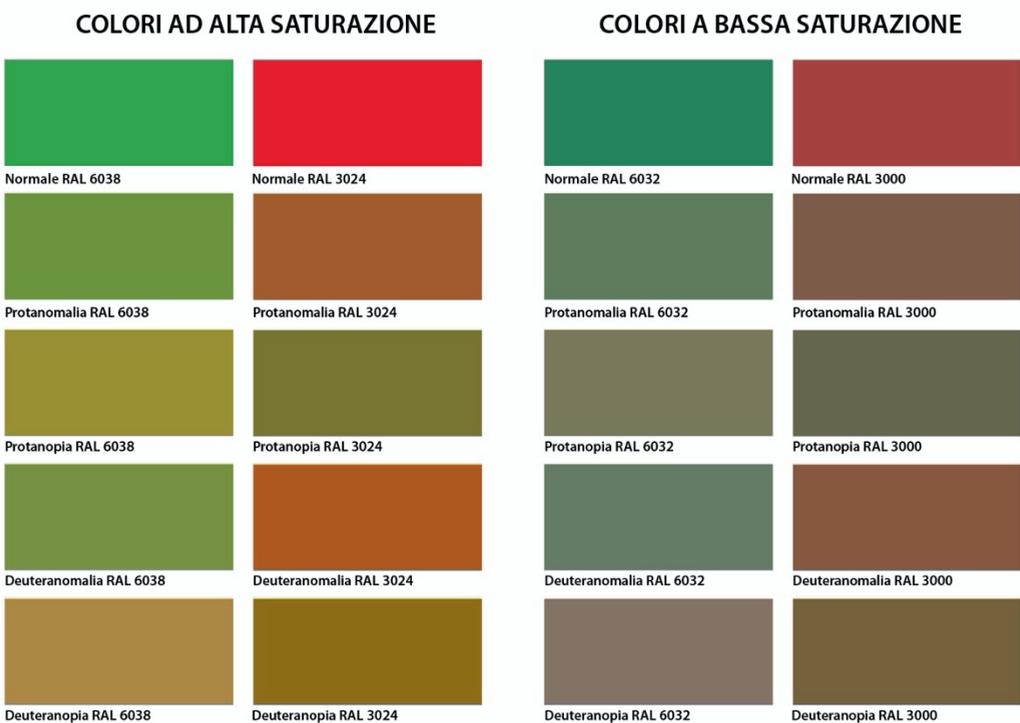


Figura 16 - Confronto tra visione normale, protoanomala e protanopia del Rosso vs Verde a saturazioni diverse (fonte F. Valan)

Pulsante Giallo e blu

Il problema del rapporto tra la percezione del colore e la saturazione è meno importante nel caso dei colori giallo e blu, essendo la percentuale di persone che soffrono di anomalia genetica per questi colori molto ridotta (protani e deuteranopi lo percepiscono correttamente).

Ad integrazione di quanto sopra scritto, si fa presente che un altro aspetto che permette un facile riconoscimento dei tasti è il contrasto di luminanza: sotto questo aspetto il valore più elevato è quello ottenibile con il nero e il bianco. Ciò va tenuto in debita considerazione.

Luminanza e Chiarezza

La luminanza non è rappresentata nel diagramma CIE bidimensionale; la norma UNI 7543-2 fornisce quindi dei valori del *fattore di luminanza* (che è il rapporto tra la luminanza della superficie e quella di un diffusore perfetto illuminato allo stesso modo) sotto i quali non si deve scendere.

La chiarezza o Luminanza aiutano la discriminazione del colore.

In particolare, quando sono affiancate due tinte diverse (es. rosso e verde) che cadono lungo la stessa linea di confusione, si evidenzia una difficile discriminazione (Figura 17 e Figura 18);

- per i soggetti protoanomali le due tinte sono meno discriminabili;
- per un protanopo il verde ed il rosso si avvicinano fino a sembrare molto simili

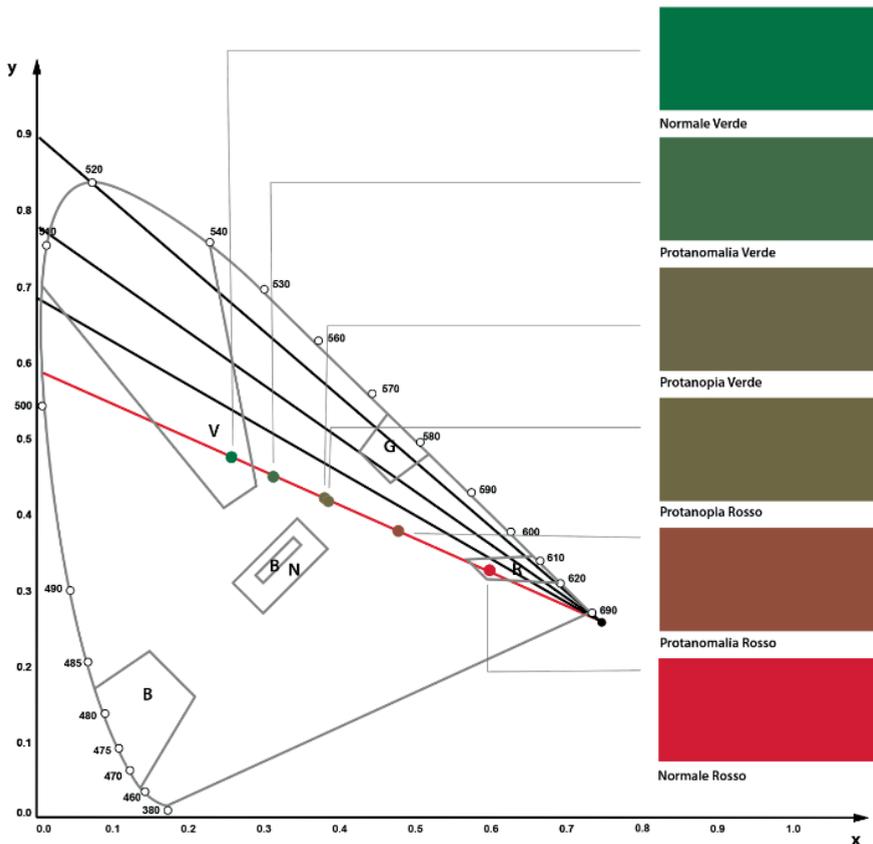


Figura 17 – Confronto tra visione normale, protoanomala e protanopia di un rosso e un verde con valori di luminanza approssimati a Y 14 e rispettivo posizionamento sulla linea di confusione (Fonte F. Valan)

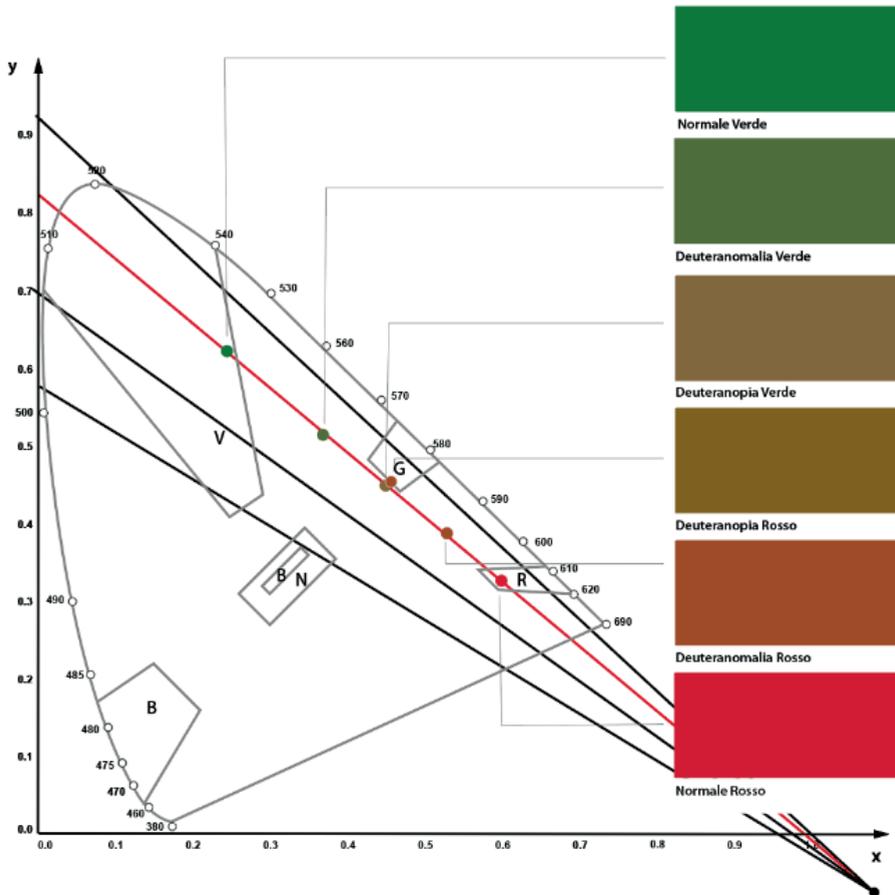


Figura 18 - Confronto tra visione normale, deuteranomala e deuteranopia di rosso e verde con valori di luminanza approssimati a Y 14 e rispettivo posizionamento sulla linea di confusione (fonte F. Valan)

Aumentando la chiarezza dei verdi (Y 35 apx) e mantenendo inalterata quella dei rossi (Y 14 apx) aumenta la capacità di discriminazione delle due tinte lungo la stessa linea di confusione (figura19)

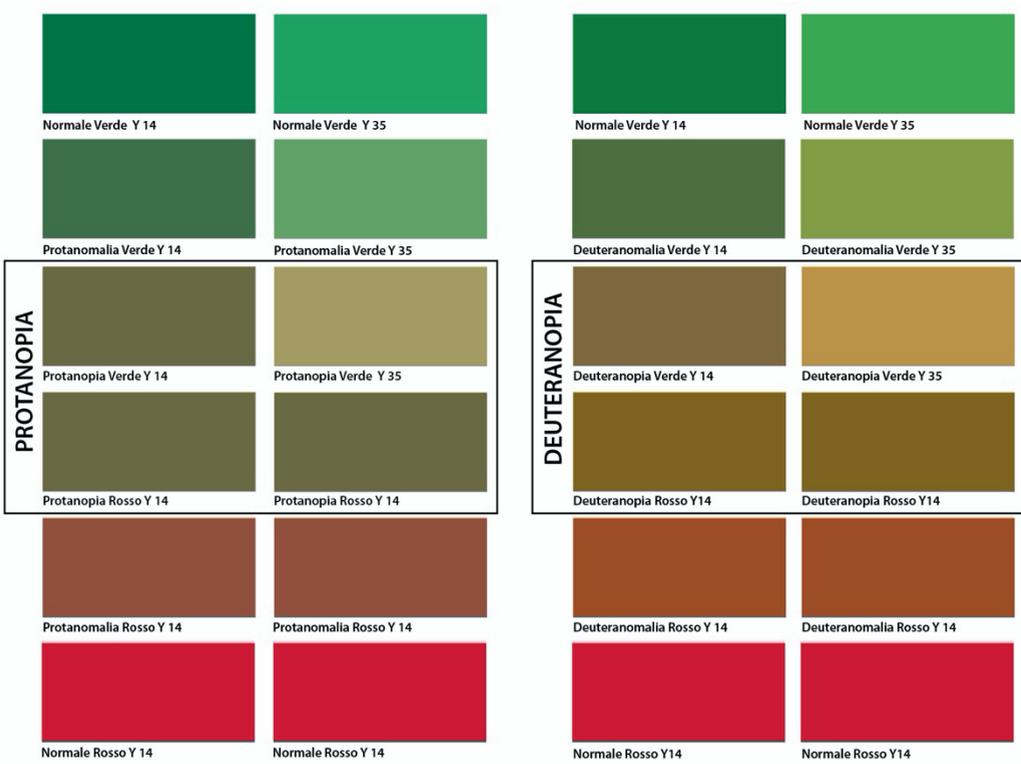


Figura 19 – Confronto tra visione normale vs protanopia e deuteranopia di un verde e un rosso con chiarezze diverse (fonte F. Valan)

Anomalie della visione del colore e lenti filtranti

Recentemente, anche grazie alla pubblicità presente sulla rete, hanno acquisito popolarità lenti filtranti in grado, apparentemente, di consentire la percezione del colore a soggetti anomali.

In realtà le analisi scientifiche condotte hanno mostrato come nessuno di questi occhiali sia in grado di restituire una corretta percezione del colore a soggetti anomali. Diverso è il caso se si vuole invece consentire a una persona anomala nella visione del colore di riuscire a riconoscere un particolare segnale. In questo caso, infatti, può essere sufficiente utilizzare una lente filtrante che schiarisce un segnale scurendo l'altro. Ad esempio, se si deve distinguere uno stimolo blu da uno rosso, l'uso di una lente rosa lascerebbe invariata la luminosità dello stimolo rosso mentre scurirebbe lo stimolo blu.

È quindi poco plausibile pensare di gestire in tal modo l'eventuale rischio connesso all'utilizzo di macchine da parte di lavoratori con inabilità cromatica: si presuppone che le attività assegnate siano varie ed è impensabile o quantomeno poco pratico che il lavoratore indossi le lenti filtranti solo al momento della lettura del singolo segnale.

Anomalie della visione del colore acquisite

Le anomalie acquisite iniziano dopo la nascita in qualsiasi momento, la gravità varia con il tempo (potendo aumentare o diminuire), hanno incidenza simile per maschi e femmine, possono affliggere uno solo dei due occhi e solo una parte del campo visivo. I difetti acquisiti della visione dei colori possono essere classificati in base alla sede della patologia o sulla base delle caratteristiche cliniche. La prevalenza del deficit all'interno delle popolazioni si ha sui soggetti più anziani a causa del deterioramento delle vie ottiche.

Con l'età i due fattori principali sono lo sviluppo della cataratta e la perdita di sensibilità nel canale giallo blu. Entrambi questi fattori conducono a una perdita di capacità di discriminare il blu scuro. Questa è una ragione che deve spingere ad evitare l'utilizzo di colori blu scuri che in età avanzata risultano spesso indistinguibili dal nero a prescindere dalla presenza di lavoratori "daltonici".

Tale aspetto è di grande importanza se si pensa all'invecchiamento della popolazione lavoro negli ultimi anni (ISTAT) e, conseguentemente, all'attenzione richiesta nella valutazione dei rischi, della diminuzione delle capacità funzionali, principalmente fisiche e sensoriali, per effetto del naturale processo di invecchiamento (Strategia Europa 2020): i possibili cambiamenti delle capacità funzionali devono essere presi in considerazione e, per far fronte a tali cambiamenti, è opportuno agire sull'ambiente di lavoro e sui compiti lavorativi.

Colore e luce incidente

Un colore percepito è sempre un effetto combinato tra la luce emessa (es. luce da segnalazione) e luce incidente (es. luce nel luogo di lavoro).

A prescindere dalla presenza di operatori con anomalie cromatiche, gli ambienti, i posti di lavoro ed i passaggi devono essere illuminati con luce naturale o artificiale in modo da assicurare una sufficiente visibilità. (TU 81/08 allegato IV, 1.10.5).

La norma EN 12464-1 fornisce indicazioni utili alla progettazione illuminotecnica in grado di soddisfare le esigenze di comfort visivo⁸ e di prestazione visiva⁹ delle persone aventi capacità visiva normale. A tal fine, la norma, a cui si rimanda per un approfondimento, fornisce indicazioni qualitative e quantitative relativamente ai principali criteri che determinano l'ambiente luminoso (luminanza, abbagliamento, illuminamento, direzionalità della luce/illuminazione nello spazio interno, resa dei colori e aspetto cromatico della luce, sfarfallio) e suggerisce, per assicurare la prestazione visiva, di considerare criteri ergonomici tra cui la capacità oftalmica e quindi anche la percezione cromatica.

Come considerazioni generali, è bene utilizzare, in ambienti lavorativi in cui il colore può giocare un ruolo significativo, una lampada con un buon Indice di Resa Cromatica ($R_a \geq 80$). Tale valore, che viene sempre indicato nei listini delle lampade, pur se con dei limiti, permette di valutare la resa del colore da parte di una sorgente artificiale.

Oltre che rispettare i valori previsti dalla norma bisogna ricordare che al giorno d'oggi sono diventate disponibili lampade con un'ottima resa del colore a un costo più che accessibile. Anche la temperatura di colore può essere un parametro di cui tenere conto: lampade di temperatura di colore più bassa (ad esempio 3000 K) avranno un'emissione maggiore sulle lunghe lunghezze d'onda, mentre lampade con temperatura di colore elevata avranno emissioni maggiori sulle corte lunghezze d'onda.

⁸ EN 12464-1, punto 5.1 - Quando i lavoratori hanno una sensazione di benessere; indirettamente questo contribuisce anche a ottenere alti livelli di produttività e una più alta qualità del lavoro.

⁹ EN 12464-1, punto 5.1 - Quando i lavoratori sono in grado di svolgere i loro compiti visivi anche in circostanze difficili e per periodi di tempo più lunghi.

Conclusioni

L'interazione tra il lavoratore e la macchina si realizza anche attraverso l'uso del colore che è considerato un segnale visivo prioritario per comunicare un messaggio di sicurezza.

Allo stesso tempo, data anche l'incidenza rilevante delle anomalie della visione del colore nella popolazione nonché il decadimento delle capacità sensoriali associate all'invecchiamento della popolazione lavorativa, non si può certo pensare di garantire la sicurezza sul lavoro escludendo tutti gli anomali e i meno giovani da un grande numero di professioni, in particolare da quelle che prevedono l'uso di macchine, talvolta utilizzate anche per uso non professionale.

La prima cosa che deve essere ricordata è che, anche se spesso le normative fanno riferimento genericamente a *"persone con anomalie nella visione del colore"*, sotto questo termine vanno a ricadere situazioni molto diversificate e con livelli di gravità assolutamente disomogenei. Alcuni test per la visione del colore hanno favorito questa interpretazione troppo generica. Si pensi ad esempio al notissimo test di Ishihara in cui sono presentati al paziente numeri realizzati con pallini di diverso colore. Il test è nato per riconoscere le anomalie rosso verde e svolge abbastanza bene questo compito. Tuttavia, esso non è assolutamente un test in grado di fornire una valutazione dell'entità dell'anomalia: il numero di tavole sbagliate (quasi sempre molto elevato per tutti i soggetti anomali) non dice assolutamente se l'anomalia sia grave o leggera. Conseguentemente si rischia di escludere da molti lavori soggetti con patologie lievi e non compromettenti la qualità del lavoro. Dall'altro canto, in questi casi, un design inclusivo potrebbe annullare a monte il possibile svantaggio. Le norme tecniche, la cui adozione è a carattere volontario, danno indicazioni in merito ma spesso non sono specifiche. Per esempio, quando un segnale è legato particolarmente alla sua cromaticità, la normativa tecnica, di fatto, indica l'inserimento di mezzi di codifica supplementari laddove è presumibile la presenza di operatori con anomalia cromatica. Non fornisce, ad esempio, indicazioni di preferenza tra i vari codici.

Considerando che il tempo di reazione di un operatore ad un segnale/avviso proveniente dalla macchina è funzione del tempo di percezione e decodifica dello stesso, sarebbe opportuno effettuare una valutazione quantitativa e qualitativa dei vari codici sulla base dei tempi più rapidi per il completamento del "percorso" individuazione, riconoscimento e interpretazione del codice. È auspicabile, nel futuro, approfondire questo tema anche con esperimenti appositamente progettati.

Allo stesso modo anche i test utili per la valutazione delle persone potranno diventare sempre più "vocazionali", cioè legati allo specifico compito che deve essere svolto.

Sicuramente il requisito di una ridondanza di tipo segnale soddisfa il principio di base per una progettazione *for all*, e costituisce una premessa necessaria per la realizzazione di un ambiente inclusivo e sicuro per tutti.

Con questo lavoro si è voluto sottolineare che realizzare e fornire attrezzature di lavoro adeguate significa anche realizzare attrezzature in grado di ridurre o annullare la disabilità connessa alla inabile percezione del colore ovvero facilitare un lavoro in sicurezza. Nello specifico, utilizzare colori nell'interfaccia macchina, le cui specifiche qualità e quantità fisiche siano realizzate in considerazione della diversa percezione cromatica, significa supportare la lettura del codice o riconoscimento del messaggio, sia per i soggetti abili che per i più fragili con risvolti positivi in termini di efficacia delle misure di sicurezza.

In generale, e non solo per i dispositivi di comando delle macchine, sarebbe opportuno, nel rispetto del principio di equità, fissare con maggiore precisione requisiti quantitativi minimi di adeguatezza cromatica atti ad assicurare maggiore accessibilità ed usabilità dell'ambiente e delle attrezzature di lavoro da parte anche di lavoratori con disabilità nella visione cromatica.

Va da sé che, in assenza di obblighi di legge che possano assicurare la circolazione di macchine costruite nel rispetto delle misure discusse in questo lavoro, resta al datore di lavoro la responsabilità di garantire la "comprensibilità del segnale" con un'adeguata informazione, formazione o addestramento come richiesto dal TU 81/08 e s.m.i

Bibliografia

Legislazione e norme

- Legge 227 del 22 dicembre 2021 Delega al Governo per il riassetto delle disposizioni vigenti in materia di disabilità
- Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro
- Decreto Legislativo 27 gennaio 2010, n. 17 Attuazione della direttiva 2006/42/CE, relativa alle macchine e che modifica la direttiva 95/16/CE relativa agli ascensori
- https://www.senato.it/japp/bgt/showdoc/17/DDLPRES/0/699034/index.html?part=ddlpres_ddlpres1&parse=si&spart=si
- UNI 7543-1 Colori e segnali di sicurezza Parte 1: Prescrizioni generali
- UNI 7443-2 Colori e segnali di sicurezza Parte 2: proprietà colorimetriche e fotometriche dei materiali
- CEI EN 61310-1 Sicurezza del macchinario Indicazione marcatura e manovra - Prescrizioni per segnali visivi, acustici e tattili
- EN 60073 - CEI 16-3 Principi fondamentali e di sicurezza per l'interfaccia uomo-macchina, la marcatura e l'identificazione - Principi di codifica per gli indicatori e per gli attuatori
- EN 60204-1 - CEI 44-5 Sicurezza del macchinario - Equipaggiamento elettrico delle macchine
- EN ISO 13850 Sicurezza del macchinario - funzione di arresto di emergenza-principi di progettazione
- ISO 3864-1:2011 Graphical symbols - Safety colours and safety signs - Part 1: Design principles for safety signs and safety markings

Documenti scientifici

- Barbur, J. L., & Rodriguez-Carmona, M. *Variability in normal and defective colour vision: Consequences for occupational environments*. In *Colour design* (pp. 24-82). Woodhead Publishing. (2012)
- Barry L Cole (2004) *The handicap of abnormal colour vision*, *Clinical and Experimental Optometry*, 87:4-5, 258-275, DOI: 10.1111/j.1444-0938.2004.tb05056.x
- Birch, J. *Worldwide prevalence of red-green color deficiency*. *JOSA A*, 29(3), 313-320 (2012)
- Birch, J. *Diagnosis of Defective Colour Vision* Second edition, Butterworth Heinemann, (Oxford 2001)

- J. Broackes *What Do the Color-Blind See?* DOI:10.7551/mitpress/9780262013857.003.0013 (2010)
- Dichiarazione di Stoccolma dell'EIDD (Istituto Europeo per il Design e la Disabilità) 2004
- Hart Jr, W. M. *Acquired dyschromatopsias. Survey of ophthalmology*, 32(1), 10-31. (1987)
- Paglierani, P. and Valan, F. ISBN 978-88-99513-06-1
- E. J. Patterson, R. R. Mastey, J. A. Kuchenbecker, J. Rowlan, J. Neitz, M. Neitz, and J. Carroll, *Effects of color-enhancing glasses on color vision in congenital red-green color deficiencies*, *Opt. Express* 30, 31182-31194 (2022)
- N. Silvestrini, A. Tornaghi *COLORE: CODICE E NORMA Il colore nelle norme di sicurezza, nei codici di identificazione, nell'informazione scientifica*
- Simunovic, M. P. *Colour vision deficiency. Eye*, 24(5), 747-755. (2010)
- A. Tagarelli et al *Colour blindness in everyday life and car driving* DOI: 10.1111/j.1395-3907.2004.00283.x (2004)
- <https://www.osha.gov/etools/machine-guarding/presses/safety-distance>
- <https://osha.europa.eu/it/themes/osh-management-context-ageing-workforce>
- <https://www.ottica.unifi.it/upload/sub/webinar/2021-2022/SLIDES/Percezione%20del%20colore.pdf>

Elenco Figure

Figura 1 Curve di assorbimento dei tre tipi di coni presenti sulla retina	11
Figura 2 - Esempi di alterazione delle curve di assorbimento nei casi di tricromia anomala: Protanonomalia e Deuteranomalia	12
Figura 3 - Comparazione tra la visione di un soggetto normale e di soggetti affetti da anomalie della percezione cromatica quali: protanomalia, deuteranomalia e tritanomia	13
Figura 4 - Esempi di alterazione delle curve di assorbimento nei casi di dicromia: Protanopia e Deuteranopia	14
Figura 5 - Comparazione tra la visione di un soggetto normale e di soggetti affetti da anomalie della percezione cromatica quali: protanopia, deuteranopia e tritanopia	15
Figura 6 - Percentuale delle difficoltà quotidiane riportate dai soggetti affetti da discromatopsia (fonte B.L. Cole et al, 2004)	17
Figura 7 - Esempio di un dispositivi di comando (fonte UCIMU – Sistemi per produrre)	23
Figura 8 - BRIC ID 40 2019 SENERGY “De-energizzazione smart di insiemi di macchine con sistema RFID indossabile	29
Figura 9 - Confronto tra visione normale e visione protanomala	30
Figura 10 - Confronto tra visione normale e visione protanopica	30

Figura 11 - Pulsante di emergenza – Confronto tra visione normale, protoanomala e protanopica	31
Figura 12 - Pulsante luminoso e alterazione cromatica	31
Figura 13 - Delimitazione per colori di materiali ordinari rosso, giallo, verde, blu, bianco e nero	33
Figura 14 - Tinta ROSSO - coordinate cromatiche ammesse e codici RAL (fonte F. Valan)	34
Figura 15 - Tinta VERDE - coordinate cromatiche ammesse e codici RAL (fonte F. Valan)	35
Figura 16 - Confronto tra visione normale, protoanomala e protanopia del Rosso vs Verde a saturazioni diverse (fonte F. Valan)	37
Figura 17 - Confronto tra visione normale, protoanomala e protanopia di un rosso e un verde con valori di luminanza approssimati a Y 14 e rispettivo posizionamento sulla linea di confusione (fonte F. Valan)	39
Figura 18 - Confronto tra visione normale, deuteranomala e deuteranopia di rosso e verde con valori di luminanza approssimati a Y 14 e rispettivo posizionamento sulla linea di confusione (fonte F. Valan)	39

Elenco Tabelle

Tabella 1 - Incidenza delle Tricromie anomale e Dicromie nella popolazione mondiale (fonte Simunovic, M. P.)	16
Tabella 2 - Norme di riferimento per la definizione dei colori da attribuire a pulsanti e indicatori luminosi	25
Tabella 3- CEI EN 60073 Significato dei colori per la codifica	26
Tabella 4 - CEI EN 61310-1 Codifica attraverso mezzi supplementari al colore (codici visivi)	27

Le immagini della COPERTINA, e del Capitoli I COLORI e Capitolo II I DISPOSITIVI DI COMANDO sono state progettate utilizzando le risorse di Freepik.com

INAIL - Direzione centrale pianificazione e comunicazione
Piazzale Giulio Pastore, 6 - 00144 Roma
dcpianificazione-comunicazione@inail.it
www.inail.it

ISBN 978-88-7484-836-2