



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

## Facoltà di Agraria

*Scuola di Dottorato di Ricerca*  
*Innovazione Tecnologica per le Scienze Agro-Alimentari e Ambientali*

Dipartimento di Ingegneria Agraria

*Settore scientifico disciplinare AGR/10*  
*XXIV° CICLO*

### **TESI DI DOTTORATO DI RICERCA**

Uso del colore per migliorare l'efficienza e il comfort nei siti  
produttivi alimentari

Dottorando:  
Dr.ssa Marina Mastropietro

Tutor: Prof. Franco Sangiorgi

Coordinatore Scuola di Dottorato di Ricerca: Prof. Roberto Pretolani

Anno Accademico 2010-2011

*Per mia madre e mio padre, esempi di vita che porto sempre nel cuore*



## *Ringraziamenti*

Ringrazio il mio tutor, prof. Franco Sangiorgi, per avere creduto in me e avermi dato la grande opportunità di *apprendere*.

Grazie al Dipartimento di Ingegneria Agraria, in particolare al Direttore Prof. Alessandro Toccolini e al Prof. Riccardo Giudetti che mi hanno seguito nel periodo di completamento della mia tesi. Grazie al Prof. Maurizio Rossi, tutor del mio tirocinio presso il Laboratorio Luce del Politecnico di Milano e al dr. Andrea Siniscalco che mi ha seguito nella pratica.

Un pensiero riconoscente al mio relatore prof. Carlo Pompei per i suoi consigli e per avermi sostenuta durante tutto il mio percorso universitario.

Ringrazio la Solfarm Europe che ha reso possibile la mia ricerca sulla IV Gamma, in particolare il titolare Gianguido Bernardoni e la gentilissima dr.ssa Laura Soldati, che si è premurata per venire incontro a tutte le mie esigenze. Grazie al Direttore Qualità e Innovazione Prodotto, Silver Giorgini, che mi ha permesso di condurre le mie ricerche nello Stabilimento Orogel 1 e all'ing. Filippo Garattoni per la sua piena disponibilità. Per la raccolta dei campioni dei nastri trasportatori ringrazio Intralox, in particolare Alessandro Calzati per la sua cortesia e tutte le utili informazioni.

Ringrazio la Konica Minolta di Milano che mi ha dato l'opportunità di utilizzare la sua strumentazione, e Roberto Pelanda che mi ha seguito nella fase di sperimentazione, così come Renato Figini e Maurizio Messa. Al Prof. Alessandro Rizzi un grazie particolare per avermi dato la sua disponibilità e i suoi suggerimenti nell'analisi colorimetrica dei nastri trasportatori.

Alla mia amica e famosa color design Francesca Valan, per il suoi consigli professionali e personali e per la sua disponibilità e gentilezza durante questi tre anni un grazie speciale. Molte grazie anche a Olga Salvoni. Né dimentico l'amica e nota esperta di colore Lia Luzzatto, che mi ha sostenuto con i suoi validi suggerimenti nella fase iniziale del mio dottorato.

Un grazie infinito alla mia amica ing. Gigliola Gigli per la sua professionalità, disponibilità, affidabilità e generosità che mi ha sempre dimostrato, e, in particolare, per il suo sostegno e per la carica che riesce sempre a trasmettermi.

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>6</b>
<b>2. LA COLORIMETRIA .....</b>	<b>8</b>
2.1. LA CODIFICA CIE .....	8
2.2. IL SISTEMA CIE .....	9
2.3. IL SISTEMA COLORIMETRICO CIELAB .....	19
<b>3. SISTEMI CROMATICI.....</b>	<b>21</b>
3.1. IL SOLIDO DI MUNSELL.....	21
3.2. IL SISTEMA NCS STANDARD .....	22
<b>4. STRUMENTI DI MISURA .....</b>	<b>26</b>
4.1. STRUMENTI SPETTROFOTOMETRICI .....	26
4.2. STRUMENTI COLORIMETRICI.....	26
4.3. LE DIFFERENZE CROMATICHE.....	32
4.4. IL 2D COLOR ANALYZER CA - 2000 .....	33
4.5. STRUMENTI FOTOMETRICI .....	33
<b>5. SITUAZIONE ATTUALE DEI SITI ALIMENTARI.....</b>	<b>34</b>
5.1. LE NORMATIVE VIGENTI.....	34
5.2. I COLORI PIÙ DIFFUSI .....	35
5.3. GLI ILLUMINANTI PIÙ DIFFUSI.....	36
<b>6. COLORE ED ILLUMINAZIONE .....</b>	<b>38</b>
6.1. GLI EFFETTI DEL COLORE .....	38
6.2. GLI EFFETTI DELLA LUCE.....	42
6.3. DIFFERENZE TRA LUCE NATURALE E ARTIFICIALE .....	46
6.4. IL TERZO RECETTORE .....	48
<b>7. IV GAMMA: IL CASO SOLFARM EUROPE .....</b>	<b>51</b>
7.1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI.....	51
7.2. MATERIALI E METODI.....	55
7.3. RISULTATI.....	74
7.4. DISCUSSIONE.....	77
<b>8. II GAMMA: IL CASO MENSA OROGEL.....</b>	<b>85</b>
8.1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI.....	85
8.2. MATERIALI E METODI.....	86
8.3. RISULTATI.....	91
8.4. CONCLUSIONE.....	95
<b>9. CASO OROGEL: I NASTRI TRASPORTATORI.....</b>	<b>96</b>
9.1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI.....	96
9.2. MATERIALI E METODI.....	97
9.3. RISULTATI DELLE PROVE COLORIMETRICHE .....	119
9.4. TEST PERCETTIVO.....	126
9.5. RISULTATI DEL TEST PERCETTIVO .....	129
9.6. RISULTATI.....	137
9.7. CONCLUSIONI.....	147
9.8. PROPOSTE.....	148
<b>10. CONCLUSIONE .....</b>	<b>149</b>
<b>11. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>151</b>

<b>12. ALLEGATI.....</b>	<b>154</b>
ALLEGATO 1 - QUESTIONARIO SOLFARM 1 .....	154
ALLEGATO 2 - QUESTIONARIO SOLFARM 2 .....	157
ALLEGATO 3 - QUESTIONARIO SOLFARM 3.....	162
ALLEGATO 4 - QUESTIONARIO OROGEL MENSA .....	165
ALLEGATO 5 - TABELLE CALCOLO COORDINATE CROMATICHE DEI CAMPIONI ANALIZZATI.....	172
ALLEGATO 6 - DATI E GRAFICI COLORIMETRICI ESTRAPOLATI DAL SOFTWARE 2D COLOR ANALYZER CA 2000 .....	196
ALLEGATO 7 - CAPITOLO 1. LA LUCE .....	241
ALLEGATO 8 - CAPITOLO 2. IL COLORE.....	258
ALLEGATO 9 - CAPITOLO 3. LA VISIONE CROMATICA .....	261
ALLEGATO 10 - CAPITOLO 4. LA PERCEZIONE CROMATICA.....	273
ALLEGATO 11 - REFERENZE .....	288

## 1. Introduzione

Negli ultimi decenni cresce sempre più l'esigenza da parte di ogni azienda di migliorare le condizioni di lavoro allo scopo di aumentare il benessere percepito dal lavoratore.

Spesso lo stress lavorativo è direttamente correlato al fattore ambiente lavorativo: passare molto tempo in un ambiente poco confortevole induce nel soggetto un forte senso di disagio e malessere. Tali condizioni oltre a riflettersi sulla sua salute, rappresentano motivi di deconcentrazione sul posto del lavoro a scapito della sicurezza personale e anche del rendimento. Il rischio di stress e disagio percepiti dal lavoratore sono argomenti di molte ricerche e studi condotti anche in Europa da parecchi anni da cui emerge che un lavoratore europeo su quattro sarebbe sofferente di stress.

Nonostante la normativa si sia impegnata per cercare di analizzare e ridurre i rischi negli ambienti lavorativi (TU 81/2008) ancora oggi si verificano troppi incidenti sul lavoro.

Dal 1. agosto 2010 decorre infatti l'obbligo della valutazione dello stress lavoro-correlato: ai sensi del Comma 1-bis art. 28 D.Lgs 81/2008 (modificato dall'articolo 18 del D.Lgs. n. 106 del 2009) la valutazione dei rischi dei luoghi di lavoro deve riguardare tutti i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, ivi compresi quelli riguardanti gruppi di lavoratori esposti a rischi particolari, tra cui anche i rischi collegati allo stress lavoro-correlato.

Tra i differenti fattori stressanti vi è anche l'ambiente lavorativo, dove il lavoratore passa mediamente 8 ore al giorno, spesso in condizioni difficili. L'Osservatorio dell'Unione Europea afferma che il 30% dei lavoratori che frequentano un preciso luogo di lavoro soffre di una patologia chiamata "sindrome da edificio malato" (*"sick building syndrome"*) che porta a sintomi quali cefalee, disturbi visivi e delle prime aeree respiratorie (tosse e nausea) sino alla spossatezza. Nasce pertanto il concetto di *welfare aziendale*.

La qualità ambientale dipende dal rapporto controllato tra gli elementi acustici, termici, olfattivi e visivi. Tra questi vi sono luce e colore, fattori determinanti dell'ergonomia visiva. Il colore è inoltre fonte della maggiore carica emotiva che uno spazio possa offrire: crea, in particolare, quell'atmosfera che si percepisce grazie agli aspetti sinestetici attivati e dalla sua energia elettromagnetica, con i relativi benefici effetti sul lavoratore.

Per migliorare il benessere ambientale percepito dal lavoratore è bene partire, in una prima fase, con interventi di più facile realizzo, meno costosi e meno impegnativi per non ostacolare anche i ritmi della produzione in essere.

Un intervento con queste caratteristiche è l'intervento cromatico, che non prevede modifiche drastiche del locale, ma solo *l'applicazione dei colori più idonei là dove si può per ottimizzare ciò che già c'è*.

L'inserimento del colore seguendo questa procedura è in parte limitato perché su alcuni materiali è difficile applicare il colore, ma i suoi costi sono limitati e, in tutti i casi, risulta essere l'intervento, tra tutti, decisamente più efficace per modificare l'aspetto di un locale, e, più importante, per indurre sensazioni positive di comfort emozionale.

Oggetto del presente studio è la definizione del disagio correlato all'ambiente lavorativo di una IV e di una II Gamma, verifica dei problemi specifici ed analisi di possibili soluzioni alternative di colori. Questi, già presenti nei siti produttivi esaminati, sono stati riproposti dopo un'attenta indagine allo scopo di aumentare il welfare del lavoratore, la piacevolezza del suo ambiente di lavoro, favorendo allo stesso tempo la sua concentrazione e conseguentemente la sua sicurezza, stimolando indirettamente anche la sua performance e la qualità del prodotto alimentare finale, e, non in ultimo, rafforzando il legame tra lavoratore e proprietà, fidelizzando il personale all'azienda.

Il colore è legato alla luce in modo imprescindibile. Non solo da un punto di vista della fisica, quindi da valutazioni colorimetriche, spettrofotometriche, fotometriche e illuminotecniche. Entrambi difatti agiscono non solo sulla prestazione visiva del lavoratore estremamente importante per la sua performance. Luce e colore, attraverso gli occhi e il fenomeno della percezione cromatica, influenzano oltre la vista anche la mente, lo stato d'animo e la fisiologia di parecchi organi del corpo umano, creando o disagio o benessere.

Nella conduzione di questo lavoro per la progettazione cromatica mi sono avvalsa di *metodologie standard*, della fisica e della colorimetria.

Inoltre, al fine di individuare le tinte più adatte, è stata fondamentale l'analisi sulla base dei numerosi studi sulla modalità di funzionamento della retina, sullo stato dell'arte della fisiologia dell'elaborazione dell'immagine cromatica e sull'influenza dei colori sull'uomo.

Tali importanti argomenti, che stanno alla base della mia ricerca, vengono analizzati in dettaglio negli allegati 7, 8, 9 e 10.

Durante questo studio per ottenere, oltre al miglior risultato, anche la massima soddisfazione dei fruitori (addetti alle lavorazioni), ho realizzato test mirati a capire i disagi ambientali subiti, le loro preferenze cromatiche ed esigenze ambientali.

I tre casi esaminati e descritti nei capitoli 7, 8 e 9 possono essere distinti in due differenti modalità di approccio ed analisi del colore, in funzione della sua distribuzione.

Si distinguono

- *il caso statico*, in cui si analizza il colore dell'ambiente per individuare un'adeguata proposta cromatica allo scopo di "fare sentire meglio". In questo caso *il colore è uno strumento di benessere*.
- *il caso dinamico*, in cui si esamina il colore del nastro trasportatore in funzione della tinta del prodotto trasportato, per evidenziare i suoi cromatismi per renderlo più visibile e "farlo vedere meglio": *il colore è uno strumento di vista*.

Nella pratica il mio intento è anche quello di fornire agli operatori del settore informazioni, linee guida e strumenti utili per focalizzare la propria situazione aziendale, le relative problematiche ed individuarne le soluzioni migliori.

## 2. La colorimetria

Il colore è una qualità della sensazione visiva: come tale è soggettiva e pertanto *non-comunicabile*.

Tuttavia è possibile descrivere le caratteristiche dei meccanismi responsabili della visione cromatica, le relazioni che esistono tra gli stimoli fisici e le risposte di questi meccanismi.

Anche se il colore è di per sé incomunicabile, individui diversi possono essere in accordo su "uguaglianze di colore".

Su questa considerazione si basa la colorimetria.

### *La Commission Internationale de l'Eclairage*

La Commissione Internazionale per l'Illuminazione - conosciuta anche come CIE (o C.I.E) dal suo nome francese- si occupa della standardizzazione del colore e dell'illuminazione e collabora a livello mondiale per lo scambio di informazioni su tutte le questioni riguardanti la scienza della luce, illuminazione, colore, visione, fotobiologia e tecnologia delle immagini. Fu istituita nel 1913 ed è diventata un'organizzazione professionale riconosciuta come un ente di standardizzazione internazionale (riconoscimento ISO).

### **2.1. La codifica CIE**

#### *Storia*

I colori possono essere percepiti diversamente a seconda degli individui e possono essere visualizzati diversamente a seconda delle periferiche utilizzate. La CIE ha quindi definito degli standard che permettono di definire un colore indipendentemente dalle periferiche usate.

A questo scopo, ha definito i criteri basati sulla percezione del colore dall'occhio umano, attraverso un triplo stimolo. Nel 1931, la CIE ha elaborato il sistema colorimetrico xyY che rappresenta i colori secondo la loro cromaticità (assi x e y) e la loro *luminance* (asse Y).

Il diagramma di cromaticità (o diagramma cromatico, figura 2.1. ) è il risultato di una trasformazione matematica basata sulla periferia dei colori puri, cioè l'irraggiamento monocromatico corrispondente ai colori dello spettro (colori dell'arcobaleno), individuati dalla loro lunghezza d'onda. La linea che chiude il diagramma (che chiude quindi le due estremità dello spettro visibile) si chiama la retta dei porpora, dato che corrisponde al colore porpora, composto da due raggi monocromatici blu (420 nm) e rosso (680 nm).

Il perimetro di questo diagramma è la linea dei colori spettrali; la curva al suo interno è la *curva di Planck* o luogo del corpo nero, che rappresenta i punti di colore assunti dal corpo nero al variare della temperatura a cui è sottoposto. Il *gamut* è generalmente rappresentato da un dispositivo di visualizzazione che traccia nel diagramma cromatico un poligono chiudendo tutti i colori che è capace di produrre.

Tuttavia, questa modalità di rappresentazione puramente matematica non tiene conto dei fattori psicologici della percezione del colore dall'occhio umano, da cui ne risulta che un diagramma di cromaticità lasci, ad esempio, uno spazio troppo ampio ai colori verdi.

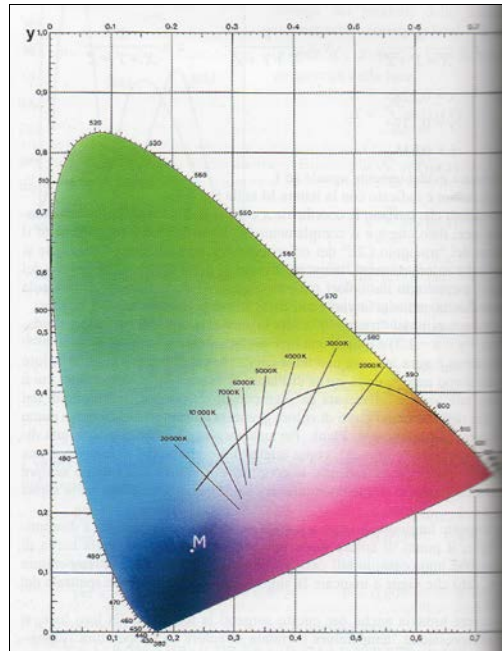


Fig.2.1. Il diagramma di cromaticità CIE 1931

Nel 1960, la CIE mise a punto il modello  $Lu^*v$ , ma sarà più importante l'anno 1976 in cui sviluppa il modello colorimetrico  $L^*a^*b^*$  (conosciuto come il modello CIE Lab o CIELAB) per rimediare alle lacune e ai limiti del modello  $xyY$ , in cui il colore è individuato dai seguenti tre valori

- $L^*$ , la luminance, espressa in percentuale (0 per il nero e 100 per il bianco)
- $a$  ( $a^*$ ) e  $b$  ( $b^*$ ), due gamme di colori, che vanno rispettivamente dal verde al rosso e dal blu al giallo con dei valori da -120 a +120.

La modalità *Lab* copre così l'intero spettro visibile dall'occhio umano e lo rappresenta in modo uniforme. Esso permette quindi di descrivere l'insieme dei colori visibili indipendentemente da qualsiasi tecnologia grafica.

In questo modo esso comprende la totalità dei colori RGB e CMYK, ragione per cui i *software* come Photoshop usano questa modalità per passare da un modello di rappresentazione ad un altro.

Si tratta di una modalità molto usata nell'industria, ma poco considerata dalla maggior parte dei *software* a causa della sua difficile manipolazione.

I modelli della CIE non sono intuitivi, tuttavia il fatto di usarli garantisce che un colore creato con essi sarà visto da tutti nello stesso modo.

## 2.2. Il sistema CIE

### Lo spazio del tristimolo ed il riferimento fondamentale

Lo spazio del tristimolo si basa sull'attivazione dei coni e questa dipende dalla radiazione elettromagnetica che entra nell'occhio, quindi occorre prima introdurre le proprietà fondamentali delle radiazioni elettromagnetiche che riguardano la colorimetria.

La radiazione elettromagnetica è costituita da un campo elettrico ed un campo magnetico tra loro ortogonali ed insieme ortogonali alla direzione di propagazione. Il comportamento della propagazione è *ondulatorio*, caratterizzato dalla lunghezza d'onda  $\lambda$ , dalla velocità di propagazione  $c=299793 \text{ Km/sec}$  (nel vuoto) e quindi frequenza  $\nu = c/\lambda$ . La radiazione visibile ha una lunghezza d'onda compresa nell'intervallo 360-830 nm. Nell'atto in cui la radiazione viene prodotta o assorbita (da un atomo, da una molecola, da un cristallo, etc.), è necessaria una descrizione corpuscolare e al posto delle onde si considerano "*quanti di luce*", detti *fotoni*, aventi energia  $E=h\nu$  proporzionale alla frequenza.

Per gli scopi colorimetrici la radiazione luminosa che entra nell'occhio è definita dalla distribuzione spettrale della potenza raggiante proveniente da una superficie unitaria ( $\text{m}^2$ ) nell'unità di angolo solido (steradiante sr) lungo una direzione (esprimibile in watt  $\text{m}^{-2} \text{ nm}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ ). Tale grandezza indicata con  $L_e(\lambda)$  è detta *distribuzione spettrale della Radianza*. Fissata  $L_e(\lambda)$ , ogni elemento della superficie retinica è colpito da una definita radiazione elettromagnetica. I quanti di luce, una volta raggiunta la retina, hanno una probabilità di essere assorbiti che dipende dalla sensibilità spettrale dei fotorecettori. Siano  $s(\lambda)$ ,  $m(\lambda)$  e  $l(\lambda)$  le curve di sensibilità spettrale dei coni (le sensibilità spettrali), rispettivamente di quelli con maggiore sensibilità alle corte lunghezze d'onda (coni S), alle medie (coni M) ed alle lunghe (coni L). Secondo il *principio dell'invarianza di Rushton* un fotone, una volta assorbito dal pigmento di un cono, innesca un processo fotochimico che non dipende dalla sua energia. Ciò comporta che la sensazione di colore dipende solo dal numero di fotoni  $N_S$ ,  $N_M$  e  $N_L$  assorbiti dai tre diversi tipi di fotorecettori nell'unità di tempo. Si suole considerare una terna di numeri proporzionali ai numeri di fotoni assorbiti  $(S,M,L)=(n_S N_S, n_M N_M, n_L N_L)$ , detti *valori di tristimolo*, dove  $n_S$ ,  $n_M$  e  $n_L$  sono costanti di proporzionalità. Per una radiazione luminosa avente radianza spettrale  $L_e(\lambda)$  tale terna vale

$$\begin{aligned} S &\equiv k_S \int_{vs} s(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda \equiv \int_{vs} \bar{s}(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda \\ M &\equiv k_M \int_{vs} m(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda \equiv \int_{vs} \bar{m}(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda \\ L &\equiv k_L \int_{vs} l(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda \equiv \int_{vs} \bar{l}(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (1)$$

dove

- le costanti  $k_S$ ,  $k_M$  e  $k_L$  definiscono le unità di misura della terna  $(S,M,L)$  ed in generale sono scelte in modo che  $S=M=L$  per la radiazione luminosa avente  $L_e(\lambda)=1$  (lo stimolo di colore associato a tale terna viene chiamato *stimolo equienergetico* o "*Equal Energy Stimulus*")
- le funzioni
 
$$\begin{aligned} \bar{s}(\lambda) &\equiv k_S s(\lambda) \\ \bar{m}(\lambda) &\equiv k_M m(\lambda) \\ \bar{l}(\lambda) &\equiv k_L l(\lambda) \end{aligned}$$
 sono dette *Funzioni Colorimetriche* e furono introdotte e misurate per la prima volta da Maxwell nel 1860 (in pratica vengono molto frequentemente indicate col nome inglese "*Color Matching Functions*" (CMF))
- gli integrali sono estesi allo spettro visibile (vs), cioè per lunghezze d'onda  $\lambda$  appartenenti all'intervallo 360-830 nm.



Le relazioni (1) mostrano che alla somma di più radiazioni corrisponde la somma delle rispettive terne. Ciò porta a considerare le terne  $(S, M, L)$  come vettori  $Q$  appartenenti ad uno spazio lineare tridimensionale. Essi sono detti rispettivamente *Vettori Tristimolo* e *Spazio del Tristimolo*. Questo sistema di riferimento definito nello spazio del tristimolo è noto come *fondamentale*.

Le CMF sopra definite sono sempre non negative e ciò comporta che le componenti del vettore tristimolo nel riferimento fondamentale siano sempre non negative. Una componente può essere nulla solo per le radiazioni agli estremi dello spettro visibile.

Dalle definizioni (1) si ottiene il vettore relativo ai contributi monocromatici dell'*Equal Energy Stimulus*

$$E(\lambda) \equiv (\bar{s}(\lambda), \bar{m}(\lambda), \bar{l}(\lambda))$$

le cui componenti sono proprio le CMF.

Ad ogni vettore tristimolo corrisponde una sensazione di colore.

Ancora dalle definizioni (1) risulta che possono esistere radiazioni luminose caratterizzate da differenti distribuzioni spettrali della radianza  $L_e(\lambda)$ , alle quali corrisponde una unica terna  $(S, M, L)$ . Quindi la corrispondenza tra sensazioni di colore e radiazioni luminose provenienti dagli oggetti è solo univoca, vale a dire che ad una sensazione di colore corrispondono infinite radiazioni luminose differenti per spettro, purché tale sensazione di colore non sia dovuta ad una radiazione monocromatica. Il fenomeno è noto come *metamerismo* ed è grazie a questo che la riproduzione dei colori degli oggetti non auto luminosi (stampa, televisione, fotografia) è possibile con tecniche semplici.

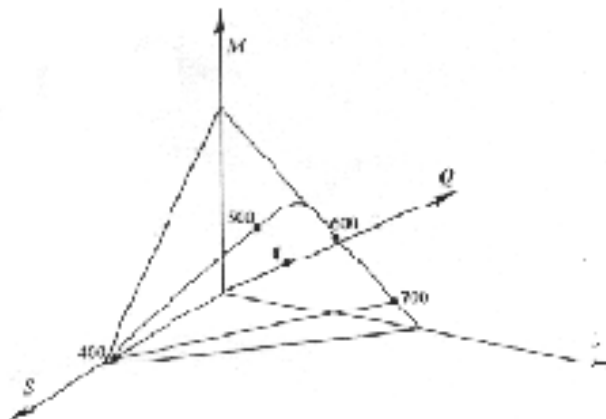


Fig.2.2. Visione prospettica dello spazio del tristimolo nel riferimento fondamentale. Il piano che interseca gli assi di riferimento è il piano del diagramma di cromaticità. La linea chiusa disegnata sul diagramma di cromaticità è lo "spectrum locus", luogo delle radiazioni monocromatiche, più il luogo delle tinte porpora descritto da un segmento retto.

### La luminosità

La sensazione di luminosità è generalmente funzione della *Luminanza*  $L_v$  (espressa in candele/m<sup>2</sup>), che consiste nella densità di flusso luminoso nell'unità di superficie e nell'unità di angolo solido lungo una direzione. Si osserva che la definizione di luminanza si ottiene da quello di radianza sostituendo le parole "flusso di potenza raggiate" con "flusso luminoso", infatti la luminanza  $L_v$  si ottiene moltiplicando la distribuzione spettrale della radianza  $L_e(\lambda)$

per la sensibilità spettrale del sistema visivo dell'uomo  $k_m V(\lambda)$  (la funzione  $V(\lambda)$  è la *Sensibilità Spettrale Relativa* e la costante  $k_m=680$  lumen/watt serve a definire l'unità di misura della luminanza) ed integrando sullo spettro visibile

$$L_v = k_m \int_{vs} V(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

La *legge di Abney* afferma che la luminanza può essere ottenuta anche dal vettore tristimolo  $Q=(S,M,L)$  corrispondente alla radianza spettrale  $L_e(\lambda)$  mediante combinazione lineare delle componenti del vettore tristimolo

$$L_v(Q) \equiv (L_S S + L_M M + L_L L)$$

Tale relazione può essere riscritta nel formalismo vettoriale mediante la introduzione di un vettore  $L = (L_S, L_M, L_L)$ , le cui componenti sono i coefficienti della combinazione lineare

$$L_v(Q) = k_m (L \cdot Q) = k_m \int_{vs} L \cdot E(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda$$

(3)

Dal confronto delle equazioni (2) e (3) risulta che la Sensibilità Spettrale Relativa può essere scritta mediante relazione vettoriale:

$$V(\lambda) \equiv L \cdot E(\lambda)$$

La somma tra radiazioni comporta l'operazione di somma tra i corrispondenti vettori tristimolo e l'operazione di somma tra le corrispondenti luminanze. Tali proprietà di linearità sono tipiche dell'attivazione dei fotorecettori e sono sufficienti per gli scopi prefissati nella presente trattazione.

#### *Osservatore Standard CIE 1931*

Lo spazio del tristimolo con il sistema di riferimento fondamentale è stato qui introdotto per ragioni "didattiche", ma ancora oggi il riferimento più usato nella pratica colorimetrica è quello proposto nel 1931 dalla *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE), nel quale una componente del vettore tristimolo rappresenta la luminanza. Si suole indicare questo spazio, valido per visione foveale con campo visivo inferiore a  $4^\circ$ , come "CIE 1931" e non va confuso con lo spazio "CIE 1964", che vale per una visione a campo visivo di  $10^\circ$ . Per *visione foveale* si intende la visione che avviene in quella parte della retina, detta *fovea*, nella quale esiste solo visione a colori ed i coni sono organizzati in un tessuto compatto ed ordinato idoneo ad avere la più alta acutezza visiva. Fuori dalla fovea il tessuto retinico è diversamente strutturato, intervengono nella visione anche altri fotorecettori (i bastoncelli, responsabili della visione crepuscolare) e lo spazio del colore cambia. Il riferimento CIE '31, ottenibile mediante trasformazione lineare dal riferimento fondamentale  $(S,M,L)$ , è definito da una terna ortogonale  $(X,Y,Z)$  dove l'asse  $Y$  risulta ortogonale ai piani a luminanza costante e gli assi  $X$  e  $Z$  sono scelti in modo che (figura 2.3.)

- i piani  $X=0$  e  $Z=0$  siano tangenti alla superficie descritta dai vettori relativi a radiazioni monocromatiche;
- il vettore  $L$  risulta parallelo all'asse  $Y$ ;

- le componenti dell' "equal energy stimulus" siano uguali tra loro.

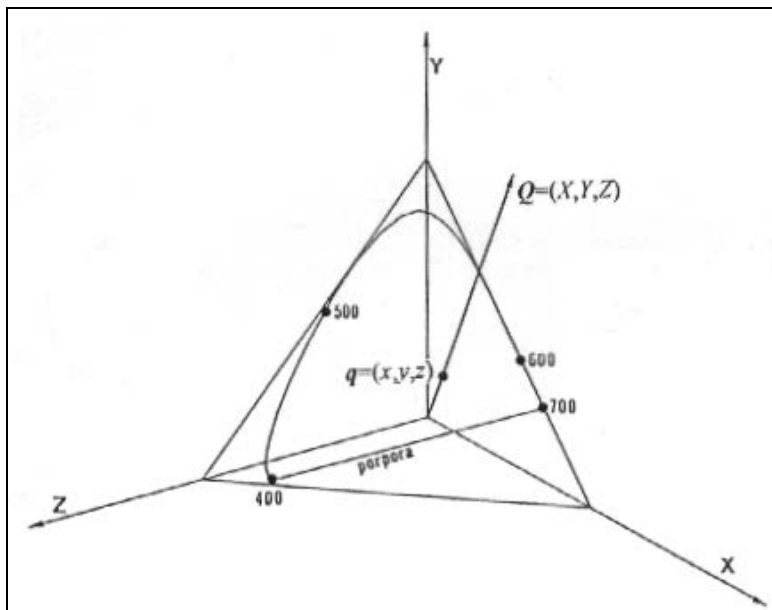


Fig.2.3. Visione prospettica dello spazio del tristimolo nel riferimento del sistema CIE 1931. La linea chiusa disegnata sul diagramma di cromaticità è lo "spectrum locus", luogo delle radiazioni monocromatiche, più il luogo delle tinte porpora descritto da un segmento retto. Il vettore  $Q=(X,Y,Z)$  è un vettore tristimolo ed il punto  $q=(x,y,z)$  ne rappresenta la cromaticità.

Nel riferimento CIE 1931 le componenti del vettore tristimolo si ottengono in modo analogo al riferimento fondamentale

$$\begin{aligned} X &\equiv \int_{vs} \bar{x}(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda \\ Y &\equiv \int_{vs} \bar{y}(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda \\ Z &\equiv \int_{vs} \bar{z}(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (4)$$

e le CMF sono indicate con  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  e vale  $\bar{y}(\lambda) \equiv V(\lambda)$

Nella pratica la funzione  $L_e(\lambda)$  non è nota e le corrispondenti misure  $\bar{L}_e(\lambda_i)$  sono il risultato di un' operazione di convoluzione fatta sulla funzione  $L_e(\lambda)$  a lunghezze d'onda definite, secondo un certo passo in  $\lambda$  e mediante una funzione di banda passante tipica dello spettroradiometro impiegato e del suo modo d'uso. Ciò comporta che gli integrali (4) sono sostituiti da altrettante sommatorie

$$\begin{aligned} X &\equiv \sum_i \bar{x}(\lambda_i) \bar{L}_e(\lambda_i) \Delta(\lambda_i) \\ Y &\equiv \sum_i \bar{y}(\lambda_i) \bar{L}_e(\lambda_i) \Delta(\lambda_i) \\ Z &\equiv \sum_i \bar{z}(\lambda_i) \bar{L}_e(\lambda_i) \Delta(\lambda_i) \end{aligned} \quad (5)$$

L' operazione di calcolo dei valori di tristimolo  $(X,Y,Z)$  è solo apparentemente semplice e può ritenersi corretta per  $\bar{L}_e(\lambda_i)$  definita con passo di 1 nm e con banda passante di 1 nm, mentre

per passo e banda passanti maggiori il calcolo richiede un processo di deconvoluzione complesso.

Ogni stimolo di colore  $Q=(X,Y,Z)$  contiene due informazioni, delle quali una è la luminanza, rappresentata dalla componente  $Y$ , e l'altra è la cromaticità, definita dalla direzione del vettore tristimolo. I punti intersezione tra i vettori (o il loro prolungamento sulle rette su cui giacciono) ed un prefissato piano (si è soliti considerare il piano dato dall'equazione  $X+Y+Z=1$ ) sono in corrispondenza biunivoca con le direzioni dei vettori e quindi con le cromaticità. La figura che si ottiene su tale piano mediante le intersezioni di questo con i vettori tristimolo prende il nome di *Diagramma di Cromaticità*.

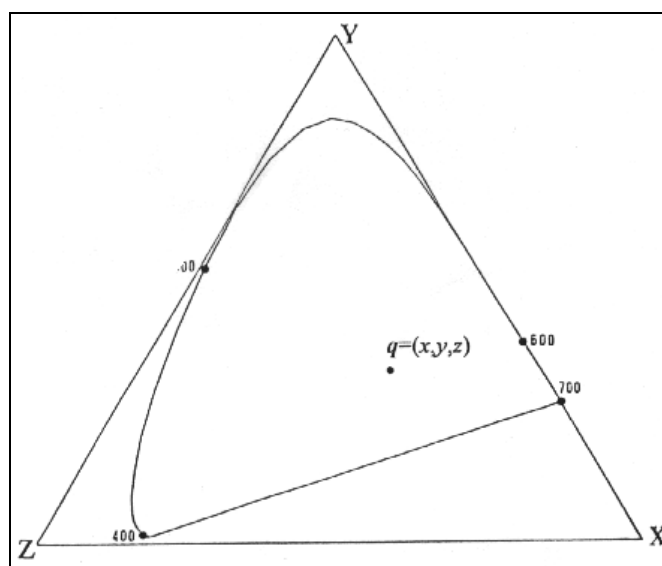


Fig.2.4. Diagramma di cromaticità CIE 1931 visto sul piano  $X+Y+Z=1$  con rappresentato il punto  $q$ .

Per ragioni pratiche si considera la proiezione di tale figura sul piano  $Z=0$  dall'infinito.

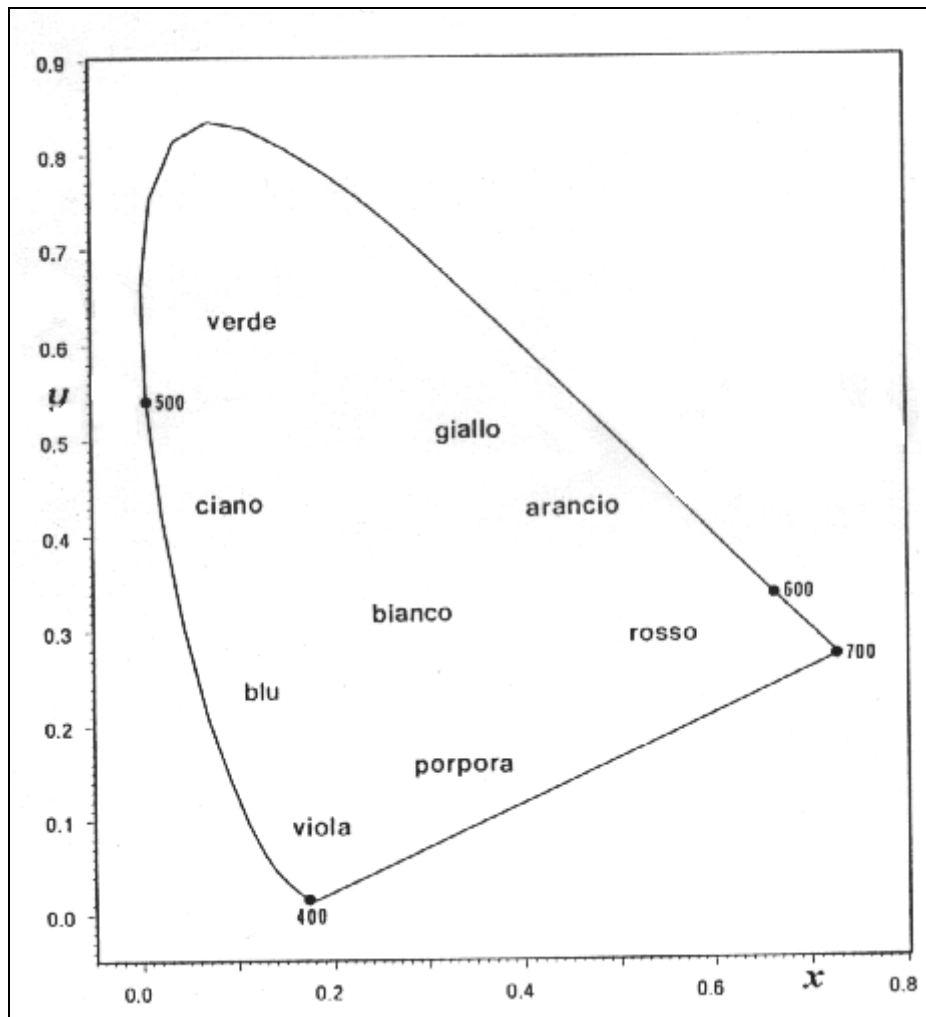


Fig.2.5. Diagramma di cromaticità  $(x,y)$  CIE 1931 ottenuto per proiezione del diagramma di cromaticità sul piano  $Z=0$  dall'infinito.

Su questo diagramma la cromaticità di un vettore  $Q=(X,Y,Z)$  risulta definita dal punto  $q=(x,y)$ , le cui componenti sono definite da

$$x \equiv \frac{X}{(X+Y+Z)}, y \equiv \frac{Y}{(X+Y+Z)} \quad (6)$$

e la terza componente, pleonastica, è automaticamente data da  $z \equiv \frac{Z}{(X+Y+Z)} = 1 - x - y$

Il bordo della figura, noto col nome di *spectrum locus*, rappresenta le cromaticità delle radiazioni monocromatiche e, nel tratto rettilineo le radiazioni di tinta porpora (miscele di radiazioni di corte e lunghe lunghezze d'onda).

Lo spazio  $(X,Y,Z)$  CIE 1931 definisce l'*Osservatore Standard*.

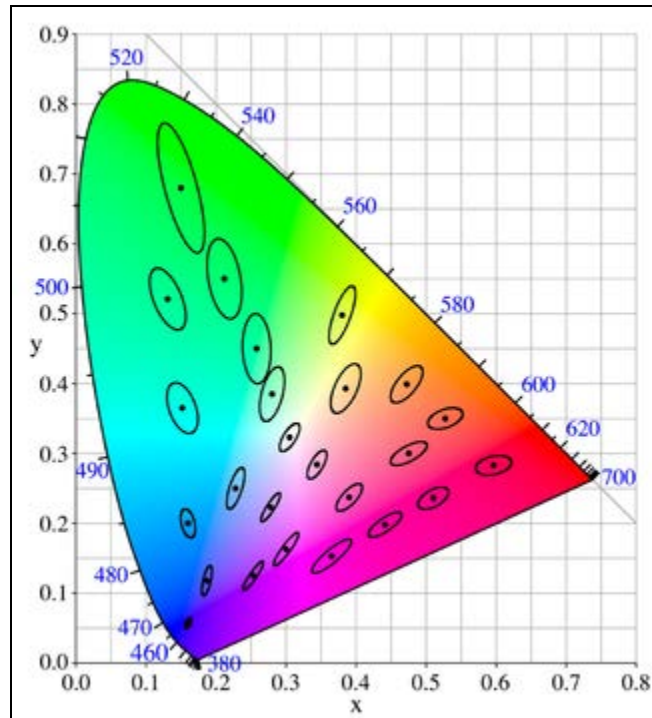
### **Limiti dello spazio dei colori CIE 1931**

Tale spazio non è uno spazio percettivo uniforme.

Difatti tutti i fenomeni successivi all'attivazione dei coni non sono rappresentati.

Le scale cromatiche di questo spazio non sono uniformi come si comprende considerando su piani a chiarezza costante le ellissi di *David MacAdam* per l'osservatore a campo visivo di  $2^\circ$ .

All'interno di tali ellissi MacAdam fu il primo a scoprire, durante dei test percettivi, che in alcune zone del diagramma CIE il colore percepito era uguale pur trovandosi in punti diversi del diagramma. Questa scoperta fu confermata successivamente da molti altri studi che dimostrano che *uguali distanze di tinta non rappresentano uguali differenze di colore percepito*.



*Fig.2.6. Le ellissi di MacAdam tracciate sul diagramma di cromaticità CIE 1931 xy per uno dei partecipanti al Test di MacAdam. Le ellissi sono dieci volte la loro dimensione reale, come indicato nella carta di MacAdam*

#### *Osservatore Standard Supplementare CIE 1964*

Analoga trattazione può essere fatta per la visione extra foveale limitata ad un campo visivo di  $10^\circ$  e ciò porta al sistema CIE 1964. In questo caso i valori di tristimolo sono distinti dai precedenti per il pedice "10" che ne individua il campo visivo. Interessante è il confronto tra le CMF dei due sistemi CIE (figura 2.7.) e dei diagrammi di cromaticità (figura 2.8.).

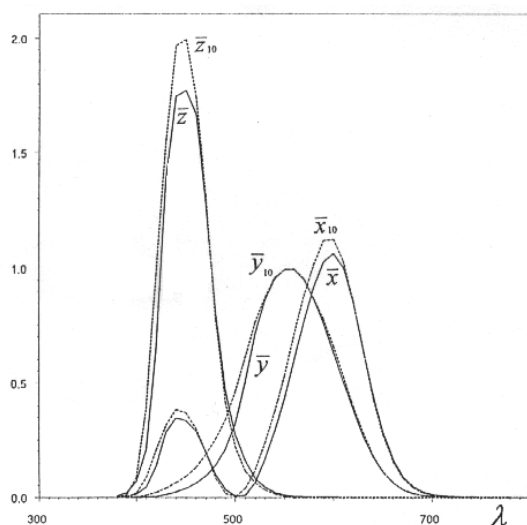


Fig 2.7. Grafico delle CMF relative all'osservatore standard CIE 1931 (campo visivo di  $2^\circ$ , linea continua) ed all'osservatore supplementare CIE 1964 (campo visivo di  $10^\circ$ , linea tratteggiata)

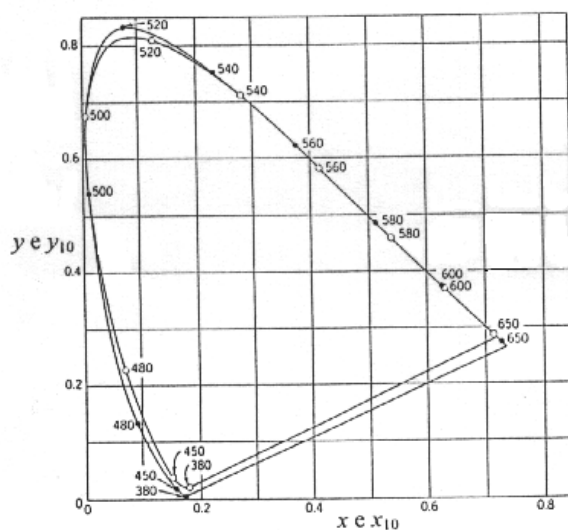


Fig.2.8. Sovrapposizione dei diagrammi di cromaticità CIE 1931 e CIE 1964 per mostrare lo spostamento delle cromaticità delle radiazioni monocromatiche, nonostante l'apparente "uguaglianza" dei due diagrammi

Lo spazio  $(X_{10}, Y_{10}, Z_{10})$  CIE 1964 definisce l'Osservatore Supplementare.

*Tricromati* sono coloro la cui retina è dotata di tre tipi di fotorecettori di tipo "cono". *Dicromati* sono coloro la cui retina è dotata di due soli tipi di coni (tale ipotesi dovuta ad *Helmholtz-Koenig* è nota come "*reduction hypothesis*"), pertanto esistono tre tipi di dicromati:

- 1) i *protanopi*, privi dei coni L più sensibili alle radiazioni rosse;
- 2) i *deutanopi*, privi dei coni M più sensibili alla radiazioni verdi;
- 3) i *tritanopi*, privi dei coni S più sensibili a quelle blu.

L'assenza di un tipo di coni comporta che sensazioni di colore diverse per i tricromati possano risultare uguali per un tipo di dicromati. Infatti stimoli diversi, la cui differenza è uno

stimolo capace di attivare il tipo di coni mancante, risultano uguali per il dicromato considerato. Nello spazio del tristimolo (figura 2.9.) tali vettori giacciono su un piano contenente l'asse rappresentante la attivazione del tipo di coni mancante e tale piano interseca il diagramma di cromaticità in una linea retta, i cui punti rappresentano le cromaticità di tali stimoli uguali per i dicromati e diversi per i tricromati.

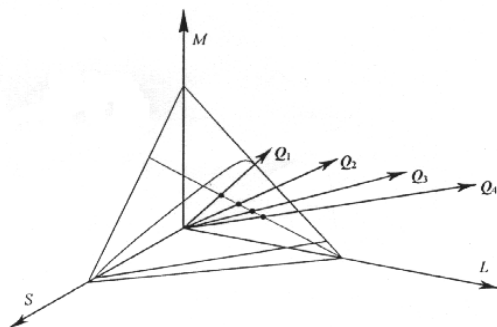


Fig.2.9. Linea di confusione protanopica sul diagramma di cromaticità nel riferimento fondamentale.

In questo modo sul diagramma di cromaticità si genera un fascio di rette, dette *linee di confusione*. I punti appartenenti ad una di queste rette rappresentano cromaticità differenti per i tricromati ma uguali per il dicromato considerato. Il fascio delle linee di confusione interseca l'asse proprio del tipo di coni mancante in un punto detto *punto di confusione* (figura 2.10.).

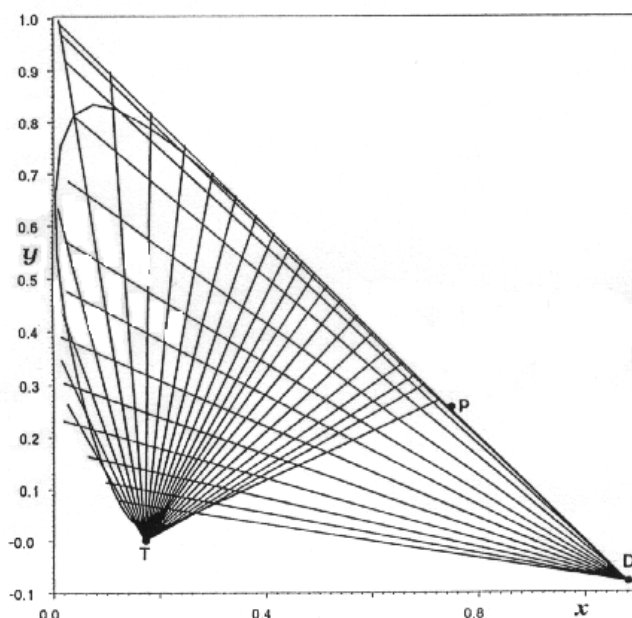


Fig.2.10. Due fasci di linee di confusione rispettivamente per i deuteranopi (punto di confusione D) e dei tritanopi (punto di confusione T) graficate sul diagramma CIE 1931. Tali linee sono cromaticamente equispaziate.

Emerge anche che il potere di discriminazione dei dicromati sugli usuali diagrammi di cromaticità è funzione dell'angolo avente centro nel punto di confusione. Quindi ogni tipo di



dicromati ha un suo proprio diagramma di cromaticità monodimensionale, il quale può essere espresso in funzione di tale angolo.

Più avanti l'esperienza delle ellissi di MacAdam indurrà a supporre che i tricromati abbiano potere discriminante in cromaticità dipendente da due angoli, uno dei deuteranopi ed uno dei tritanopi, opportunamente combinati. Tale affermazione prende il nome di *ipotesi angolare*. La costruzione di un diagramma di cromaticità a scala uniforme per i tricromati, presentato sul secondo articolo della serie, si basa sull'*ipotesi angolare* e *l'ellissi di MacAdam* (figura 2.6.).

### 2.3. Il sistema colorimetrico CIELAB

Nella pratica quotidiana dei laboratori il sistema colorimetrico più usato è il CIE  $L^* a^* b^*$ , noto anche come CIELAB, derivato mediante trasformazioni non lineari dal CIE 1931 o dal CIE 1964. Infatti questo sistema, proposto dalla CIE nel 1976, può essere definito sia per l'Osservatore Standard che per l'Osservatore Standard Supplementare e nel secondo caso le grandezze dovrebbero essere caratterizzate dal pedice "10" (regola raramente seguita con conseguente ambiguità). Le motivazioni e gli scopi che sono alla base di questo sistema sono molteplici, ambiziosi e non completamente soddisfatti, ed il successo di questo sistema è dovuto al fatto che non vi sono state alternative più vantaggiose.

Nella pratica industriale si vorrebbe che il colore fosse esclusivamente una proprietà dei corpi colorati, cioè non dipendesse dalla intensità e dalla distribuzione spettrale di potenza della radiazione illuminante, mentre i valori tristimolo dipendono da tutto ciò. Le scelte fatte possono essere così sintetizzate:

- 1) si sceglie un illuminante standard (A, C, D<sub>55</sub>, D<sub>65</sub>, D<sub>75</sub>, ...) individuato dal vettore tristimolo ( $X_n, Y_n=100, Z_n$ ) e si considera il sistema visivo adattato ad esso;
- 2) si introduce come riferimento sia nella scala luminosa che cromatica il *Perfetto Diffusore* (isotropo ed omogeneo con fattore di riflettanza spettrale uguale ad 1) al quale si associa la luminanza riflessa massima pari a 100 e costituente riferimento nella scala della luminanza;
- 3) si valuta il vettore tristimolo corrispondente all'oggetto illuminato;
- 4) si definiscono le nuove coordinate  $L^*, a^*$  e  $b^*$

$$\begin{aligned}
 L^* &= 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 && \text{per } \frac{Y}{Y_n} > 0,008856 \\
 L^* &= 903,3 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 && \text{per } \frac{Y}{Y_n} \leq 0,008856 \\
 a^* &= 500 \left[ \left( \frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \\
 b^* &= 200 \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]
 \end{aligned} \tag{7}$$

in cui, se uno dei rapporti ( $X/X_n$ ), ( $Y/Y_n$ ) e ( $Z/Z_n$ ) risulta minore o uguale a 0.008856, la sua radice cubica viene sostituita da  $[7.787 F + 16/116]$ , dove  $F$  è il rapporto stesso.

Si vorrebbe che lo spazio del colore risultasse a scale uniformi e che tali coordinate, benché calcolate considerando un particolare illuminante, risultassero indipendenti dall'illuminante stesso, venendo così a dare una rappresentazione "assoluta" del colore dell'oggetto. Così non è e questo sistema è solo un compromesso tra molte esigenze. Si osserva che le trasformazioni (7) non sono lineari e come tali la addizione dei vettori, possibile nello spazio del tristimolo, non è più ammessa in questo nuovo "spazio".

Su ogni piano a chiarezza costante sono definite nel modo seguenti le coordinate polari

- *l'angolo di tinta*

$$h_{ab} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (8)$$

- *la croma*

$$C_{ab}^* = \left( (a^*)^2 + (b^*)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

La differenza tra 2 colori C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub> di coordinate colorimetriche rispettivamente (L<sub>1</sub><sup>\*</sup>, a<sub>1</sub><sup>\*</sup>, b<sub>1</sub><sup>\*</sup>) e (L<sub>2</sub><sup>\*</sup>, a<sub>2</sub><sup>\*</sup>, b<sub>2</sub><sup>\*</sup>) è rappresentata dalla loro *distanza Euclidea* ΔE, così definita

$$\Delta E_{ab} = \left[ (L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

### **Differenza di tinta**

Per avere un'idea approssimativa di quanto il ΔE (10) corrisponda o non corrisponda ad una differenza percepita si può usare lo schema descritto nella seguente tabella.

*Tab. 2.1. Il valore di ΔE e la percezione della tinta*

	<b>ΔE</b>	<b>Tinta percepita</b>
se	ΔE < 1	tinta percepita come "identica"
se	1 < ΔE < 10	tinta percepita come "molto simile"
se	ΔE > 10	tinta percepita come "differente"

Tale schema è assolutamente indicativo e al variare della tinta può subire forti variazioni.

### 3. Sistemi cromatici

Il problema di ordinare e organizzare i colori in una struttura definendoli uno rispetto all'altro risale a circa il '600 e vede tra gli studiosi fisici, filosofi e pittori. Uno dei modelli cromatici più noto è la *sfera di Runge* del 1810, ideata dal pittore tedesco *Otto Runge*, solido in cui al suo interno ogni punto individua un preciso colore. Altri e numerosi modelli spaziali furono ideati per rappresentare i colori percepiti: dal '700 in avanti sino a tempi recenti tutti solidi geometrici. (piramide di Lambert, doppia piramide di Mayer, emisfero di Chevreul, solido di Ostwald, etc.). Il colore percepito viene difatti descritto con tre coordinate cromatiche e pertanto una sua rappresentazione può essere solo tridimensionale.

Le tre coordinate dei sistemi cromatici odierni, sono:

- la tinta (*huè*)
- la chiarezza o luminosità
- la saturazione

Tutti i modelli più rappresentativi dispongono la chiarezza su un asse centrale, dove ad un'estremità c'è il bianco, all'altra il nero. Tutti i punti tra questi due estremi rappresentano i grigi. Viene chiamato anche asse acromatico, in quanto tutti i colori che si trovano su questa retta sono *acromatici*, privi di *chroma*, come il bianco, il nero e tutti i grigi ottenuti dalla sola mescolanza di bianco e nero. Tutti hanno pertanto una saturazione nulla.

I colori puri, con massima saturazione e contenuto di croma, e che non contengono colori acromatici, si trovano solitamente alla massima distanza dall'asse acromatico. Nel linguaggio comune vengono spesso chiamati brillanti.

#### 3.1. Il solido di Munsell

Tra il 1905 ed il 1915, il pittore americano *Albert Henry Munsell* (1858-1918) elaborò un sistema di notazione cromatica denominato, per il suo aspetto insolito, *albero del colore* o *albero di Munsell*.

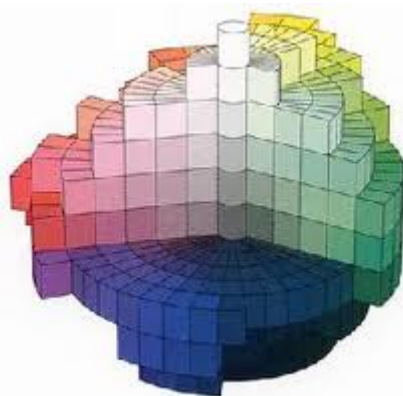


Fig.3.1. L'albero di Munsell

Questo solido è organizzato attorno ad un asse centrale acromatico che ne costituisce il tronco, attorno a cui sono disposti i colori puri, posti ad una distanza variabile dal tronco in relazione al loro grado di saturazione o purezza, non più equidistanti come nei solidi precedenti in cui le tinte erano sempre distribuite sulla medesima circonferenza o comunque alla stessa distanza dal centro, e collocati più o meno in alto nel solido in relazione alla loro

chiarezza o brillantezza (anche in questo caso si nota una rottura della simmetria a favore della evidenziazione di una qualità specifica del colore, in questo caso della chiarezza). In questo solido irregolare, un colore molto luminoso come il giallo, ad esempio, è collocato in alto rispetto alle altre tinte. Il solido che ne risulta ha una forma pertanto particolare, ad albero. La sistematizzazione dei colori puri in base al loro grado di saturazione e di luminosità è dunque la caratteristica fondamentale di questo sistema. Dal sistema deriva il “*Munsell Book of Color*”, costituito da circa 1.400 colori.

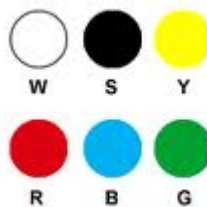
### **3.2. Il sistema NCS Standard**

Il sistema NCS, *Natural Colour System*, è stato elaborato tra gli anni 50' e 60' dallo *Scandinavian Colour Institute* di Stoccolma sotto la guida di *Anders Härd*.

È un sistema logico di ordinamento dei colori che si basa sul modo con cui l'occhio umano li percepisce, basato sulle ipotesi di Hering poi riviste da *Johansson*. Tutti i colori che possiamo immaginare sono descrivibili per mezzo del sistema NCS e ogni colore può essere identificato da una notazione NCS esatta. La codificazione NCS restituisce un'esatta descrizione del colore che vediamo. È il sistema più diffuso tra esperti di colore per definire i colori e per comprenderli.

#### *I sei colori elementari*

Questo sistema si fonda sui sei colori che l'occhio umano identifica come fondamentali: il bianco W, il nero S, il giallo Y, il rosso R, il blu B, il verde G.



La notazione NCS si basa sulla somiglianza tra il colore in questione e i sei colori elementari. I due colori acromatici sono il bianco e il nero.

I quattro colori cromatici fondamentali, assieme ai cromatici intermedi, compongono il cerchio cromatico NCS. Il bianco e il nero, danno luogo ad una scala lineare, dal bianco al nero, la scala acromatica dei grigi. I colori possono essere tutti apparentati sia coi colori cromatici che acromatici e pertanto tutti i colori percepibili si trovano in un unico solido a forma di doppio cono che contiene idealmente tutti i colori percepibili dall'occhio umano.

#### *Lo Spazio del Colore NCS*

In questo modello tridimensionale, che è chiamato anche Solido Cromatico NCS, tutti i colori di superficie immaginabili possono trovare una specifica collocazione e quindi un'esatta notazione NCS.

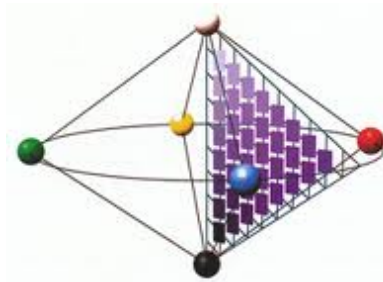


Fig.3.2. Lo spazio del Colore NCS

### Il Cerchio NCS

Il Cerchio dei Colori NCS è una sezione orizzontale che taglia nel mezzo lo Spazio del Colore NCS; in tale cerchio i quattro colori elementari Y, R, B, G sono situati ai quattro punti cardinali. Sulla circonferenza sono situati tutti i colori con il massimo contenuto in *chroma*, quindi i 40 colori più saturi.

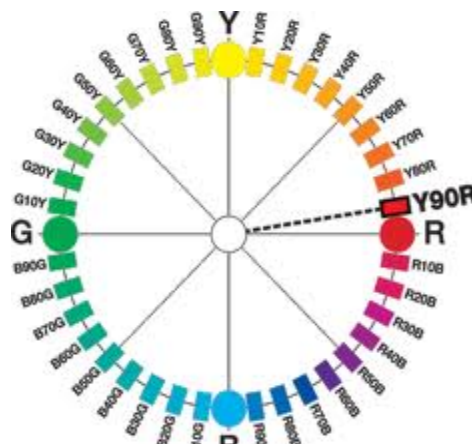


Fig.3.3. Il Cerchio NCS

Per ognuno di questi 40 colori passa una sezione verticale del solido che giunge sino alla scala dei grigi. Si ottengono così 40 triangoli.

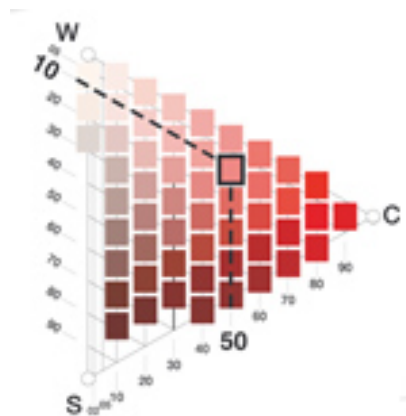


Fig.3.4. Il Triangolo NCS

### Il Triangolo dei Colori NCS

E' una sezione verticale dello Spazio del Colore NCS e rappresenta il Piano della Tinta del sistema NCS.

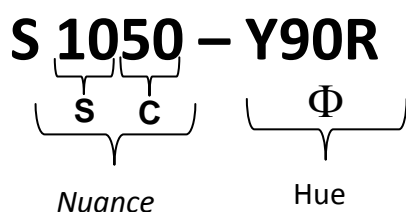
La base del triangolo è la scala dei grigi che va dal bianco (W) , in alto, al nero (S), in basso.

Il vertice del triangolo rappresenta la massima cromaticità (C).

Colori della stessa tonalità possono essere caratterizzati da valori di nerezza e cromaticità differenti; si parla in questi casi di *nuance* diverse di uno stesso colore. Queste variazioni vengono illustrate nei Triangoli dei Colori.

### La notazione NCS

Per il colore con notazione NCS S 1050 - Y90R, qui sotto vale



S	standard, la versione nuova ampliata ( NCS Edition 2)
10	la parte percettiva del nero = 10% (S)
50	la parte percettiva del croma = 50% (C )
	la parte percettiva sottintesa del bianco = 100- (S) – (C) = 40% W
Y	la parte percettiva sottintesa del giallo = 10% (Y)
R	la parte percettiva del rosso = 90% (R)

- Y90R =  $\phi$  = tinta
- somma (S) + (C) + (W)= *nuance*
- ovvero colori di medesima percentuale di (S), (C), (W)

La chiarezza (*lightness*  $\beta$  ) non è nominata dal sistema, ma si calcola con la formula

$$\beta = 100 - (S) - \frac{1}{2}(C)$$

### NCS Standard 1950 Index 1950 Original

Nella figura qui sotto l' NCS Index 1950 Original 1950 Original, cartella a ventaglio che contiene 1950 colori NCS. E' uno strumento col quale in modo pratico ed efficace è possibile definire ogni colore. Usato ormai dalla maggior parte degli esperti di colore in tutto il mondo, è uno strumento diffuso anche tra i produttori di vernici e colori e permette la riproduzione di una tinta comunicandone la sua notazione NCS.



*Fig.3.5. NCS Index 1950 Original 1950 Original*

## 4. Strumenti di misura

### 4.1. Strumenti spettrofotometrici

#### *Lo spettrofotometro nella regione del visibile*

Opera tra 400 e 700 nm, viene estesamente usato nella colorimetria scientifica. Attua misurazioni ad analisi spettrali e misura l'ammontare relativo di un flusso radiante che può essere riflesso o trasmesso, per ogni lunghezza d'onda dell'intervallo spettrale considerato. E' uno strumento idoneo per misurare la modulazione della luce dovuta ad un corpo. I produttori di inchiostri, le aziende della stampa e le industrie tessili e molte altri tipi di imprese necessitano di dati ottenibili attraverso la colorimetria. Solitamente, nella spettrofotometria del visibile si effettuano misurazioni ad intervalli di lunghezza d'onda di 10 nanometri e si produce una curva di riflettanza spettrale. Queste curve possono essere utilizzate per controllare i lotti di coloranti per verificare se soddisfano i requisiti specifici.

### 4.2. Strumenti colorimetrici

#### *Il Colorimetro*

L'obiettivo di una misura del colore è quello di definire un valore numerico che consenta di assegnare un'identità precisa ad ogni specifico colore. Questo è un risultato possibile solo con accurati mezzi di misurazione.

Il procedimento utilizzato nella misura del colore sostanzialmente somma le risposte di stimolo di colore e le normalizza alle curve spettrali di risposta dei fotorecettori sensibili al colore. Come riferimento, vengono utilizzate le curve spettrali codificate dalla CIE, chiamate funzioni colorimetriche (con due Standard, il primo, del 1931, che non tiene conto della visione extrafoveale; il secondo, del 1964, che ne tiene conto risultando leggermente diverso). Le aree sottese dalle tre curve che si ottengono alla fine del procedimento danno origine a tre valori: le coordinate di tristimolo X, Y e Z legate alle due coordinate di cromaticità (x, y) da relazioni lineari. I passaggi da uno spazio di colore ad un altro sono dati da determinate relazioni di trasformazione di coordinate.

#### *Le caratteristiche dei colorimetri*

##### *Sorgente luminosa integrata*

La luce incorporata e il sistema di retroazione a doppio raggio garantiscono l'illuminazione uniforme dell'oggetto per tutte le misurazioni e i dati possono essere calcolati in base all'illuminante standard CIE di tipo C o D65.

##### *Memorizzazione dei dati*

I dati di misurazione vengono automaticamente memorizzati nel momento in cui avviene la misurazione e sono anche stampabili.

##### *Comunicazione dei dati*

È possibile utilizzare lo standard RS-232C per fornire i dati o controllare il colorimetro.

##### *Visualizzazione dei dati*

I risultati della misurazione vengono visualizzati come impressioni soggettive ma in forma numerica precisa e in diversi spazi di colore per consentire una comunicazione semplice e precisa.





### *Illuminazione costante/angoli di osservazione*

La geometria di illuminazione/visualizzazione è fissa per garantire condizioni di misurazione uniformi.

### *Osservatore costante*

L'osservatore del colorimetro è costituito da tre fotocellule filtrate in modo che corrispondano alle funzioni dell'Osservatore standard CIE 1931 e garantiscano condizioni di osservazione uniformi per tutte le misurazioni.

### *Eliminazione dell'effetto area e dell'effetto contrasto*

Poiché il colorimetro misura solo i campioni (i campioni forniti devono essere delle dimensioni minime specificate), le differenze causate da dimensioni o sfondi diversi vengono eliminate.

### *Misurazione delle differenze di colore*

La differenza cromatica da un colore target è misurabile e visualizzabile immediatamente in forma numerica.



Fig.4.1. Due colorimetri portatili Konica Minolta

### **Il colorimetro per la misurazione di corpi non autoluminosi**

comprende le seguenti tre parti

- una sorgente di luce, spesso una lampada flash con scarica xeno
- un dispositivo ottico per attuare una geometria di illuminazione ed una di visione standard, che illumina e raccoglie la luce da analizzare, realizzato sempre seguendo gli standard CIE
- un dispositivo optoelettronico per l'analisi della luce raccolta. Fornisce il fattore di luminanza  $Y$  e le due coordinate cromatiche  $(x, y)$  con visualizzazione sul display, caratterizzando in modo completo la superficie in esame.

Il colorimetro rende possibile la semplice e precisa quantificazione dei colori, cosa che non riesce a fare nemmeno l'occhio umano più esercitato. Come è stato già visto, diversamente dalle espressioni soggettive comunemente usate per descrivere i colori con le parole, i colorimetri esprimono i colori numericamente secondo degli standard internazionali. Quando i colori vengono espressi in questo modo si è sicuri che la loro comprensione sarà universale. Inoltre la percezione soggettiva di un singolo colore può cambiare a seconda dello sfondo o della sorgente che illumina l'oggetto. I colorimetri hanno sensibilità

corrispondenti a quelle dell'occhio umano; tuttavia, poiché effettuano sempre le misurazioni usando la stessa sorgente luminosa e lo stesso sistema di illuminazione, le condizioni di misura devono essere le stesse, indipendentemente dalla luce circostante (indipendentemente dal luogo e dall'orario di misurazione). Questo permette misurazioni accurate.

Esistono spazi di colore diversi in cui è possibile identificare i valori numerici per l'oggetto da misurare.

### Lo Spazio di Colore $L^*a^*b^*$

Lo spazio di colore  $L^*a^*b^*$  (noto come CIELAB) è attualmente uno degli spazi di colore più diffusi per la misurazione del colore di un oggetto ed è ampiamente usato in tutti i campi. È uno degli spazi colorimetrici uniformi definiti nel 1976 dalla CIE ai fine di ridurre uno dei principali problemi dell'originale spazio di colori Yxy: le distanze uguali sul diagramma di cromaticità x, y non corrispondevano alle differenze di colore percepite come uguali. In questo spazio di colori,  $L^*$  indica la luminosità mentre  $a^*$  e  $b^*$  le coordinate di cromaticità.

$a^*$  e  $b^*$  indicano le direzioni del colore:  $+a^*$  è la direzione del rosso,  $-a^*$  è la direzione del verde,  $+b^*$  è la direzione del giallo e  $-b^*$  è la direzione del blu. Il centro è acromatico; quando i valori  $a^*$  e  $b^*$  aumentano ed il punto si sposta dal centro, la saturazione del colore aumenta. La figura 4.4. rappresenta il solido dei colori per lo spazio  $L^*a^*b^*$ ; la figura 4.2. visualizza lo stesso solido in sezione orizzontale con il valore costante  $L^*$ .

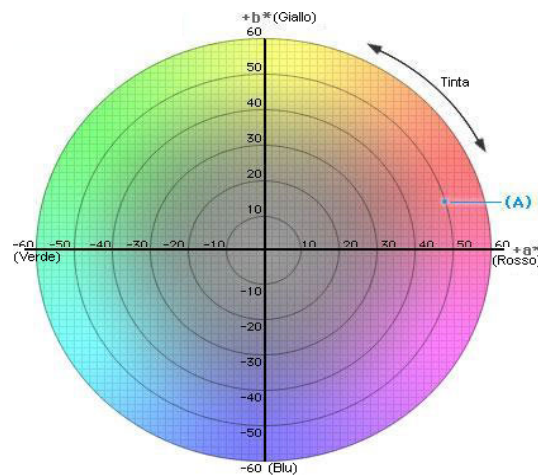


Fig 4.2. Solido in sezione orizzontale un determinato valore di  $L^*$



Se si misura la mela utilizzando lo spazio di colore  $L^*a^*b^*$  si ottengono i seguenti valori.

001	L	43.31	
a	+47.63	b	+14.12

Per vedere quale colore rappresentino tali valori, occorre innanzitutto riportare i valori  $a^*$  e  $b^*$  ( $a^* = +47,63$ ,  $b^* = +14,12$ ) su un diagramma  $a^*$ ,  $b^*$  della figura 4.2. per ottenere il punto (A), che indica la cromaticità della mela. Se si taglia in sezione verticale il solido dei colori della

figura 4.4. attraverso il punto (A) e il centro, si ottiene una visione della cromaticità rispetto alla luminosità, parte della quale appare nella figura 4.3.

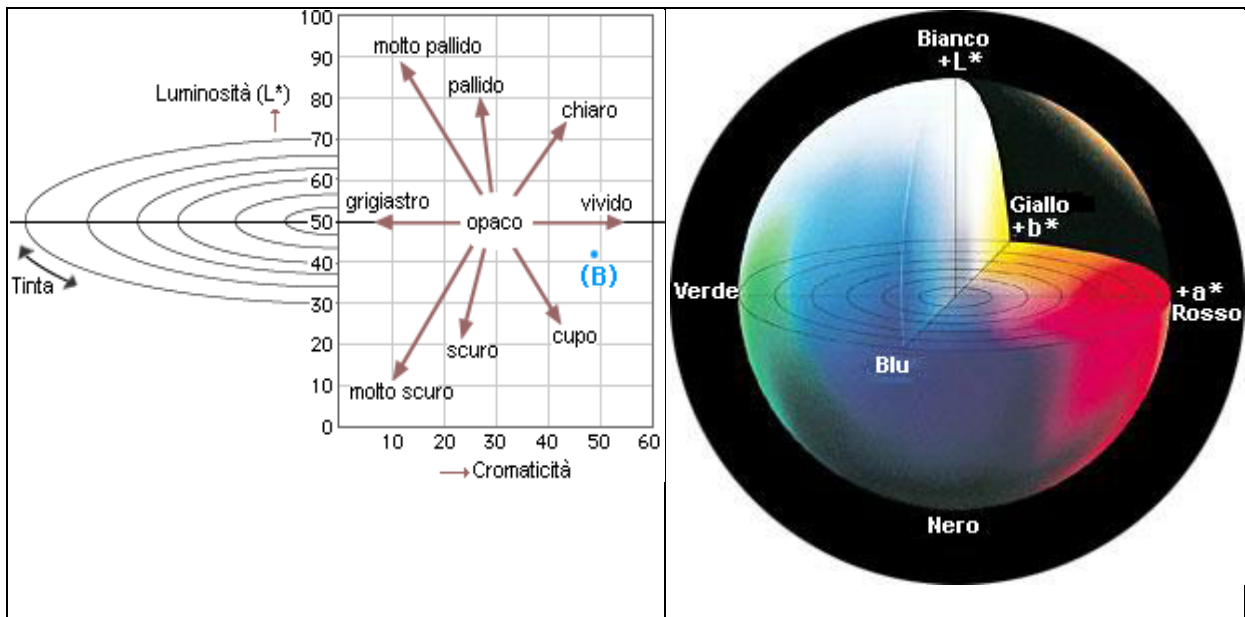


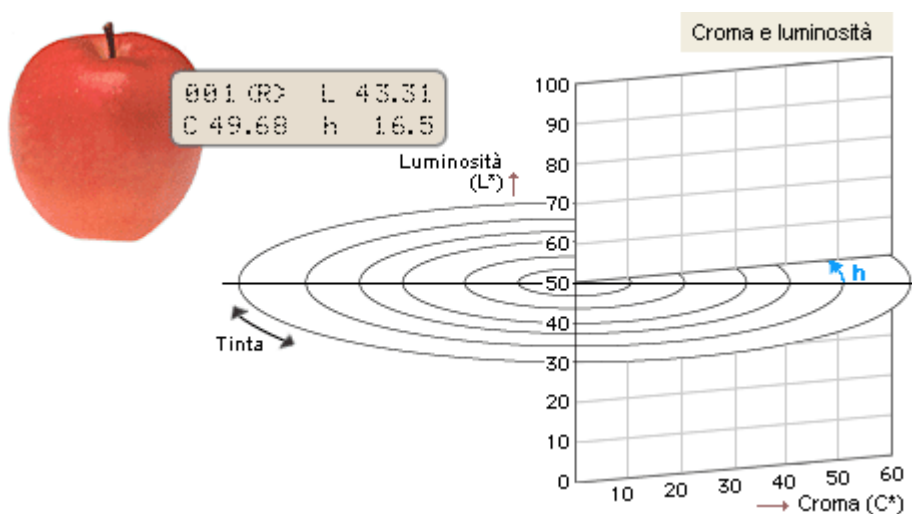
Fig.4.3. Solido in sezione orizzontale per un determinato valore di  $L^*$

Fig.4.4. Solido in sezione orizzontale per un determinato valore di  $L^*$

### Lo Spazio di Colore $L^*C^*h$

Lo spazio di colore  $L^*C^*h$  usa lo stesso diagramma dello spazio di colore  $L^*a^*b^*$  ma le sue coordinate sono cilindriche anziché rettangolari. In questo spazio di colore,  $L^*$  indica la luminosità ed la stessa  $L^*$  dello spazio di colore  $L^*a^*b^*$ ,  $C^*$  è il croma e  $h$  l'angolo della tinta. Il valore di croma  $C^*$  è pari a 0 al centro e aumenta con la distanza dal centro. L'angolo della tinta  $h$  parte per definizione sull'asse  $+a^*$  ed è espressa in gradi;  $0^\circ$  sarà  $+a^*$  (rosso),  $90^\circ$  sarà  $+b^*$  (giallo),  $180^\circ$  sarà  $-a^*$  (verde) e  $270^\circ$  sarà  $-b^*$  (blu).

Se si misura la mela usando lo spazio di colore  $L^*C^*h$ , si ottengono i risultati mostrati sotto. Se questi valori vengono rappresentati in un diagramma (figura 4.5.), si ottiene il punto (A).



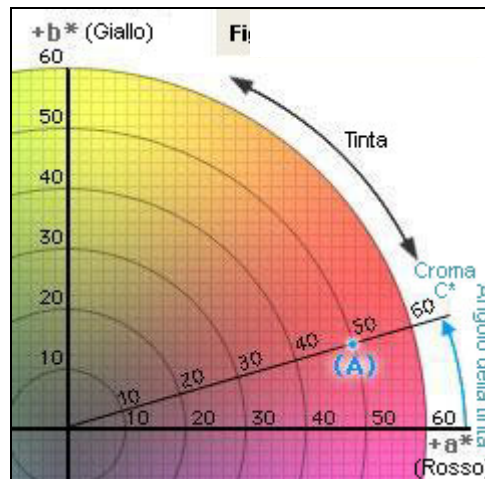


Fig.4.5. Rappresentazione dei risultati (punto A)

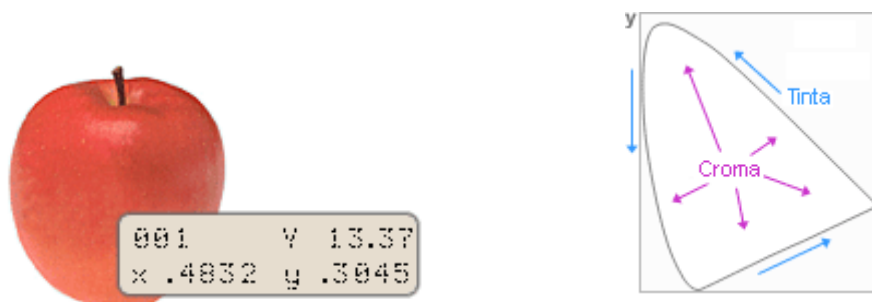
Croma  $C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$

Angolo della tinta  $h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$

#### Lo Spazio del Colore XYZ (Yxy)

I valori tristimolo XYZ e lo spazio di colori Yxy ad essi associato costituiscono le fondamenta dell'attuale spazio di colori CIE. Il concetto per i valori tristimolo XYZ è basato sulla teoria dei tre componenti della visione del colore secondo la quale l'occhio possiede dei ricettori per i tre colori primari (rosso, verde e blu) e tutti i colori sono visti come combinazione di questi tre colori primari. I valori tristimolo XYZ sono calcolati utilizzando le funzioni colorimetriche dell'Osservatore standard.

Se la mela viene misurata usando lo spazio di colori Yxy, si ottengono i valori  $x=0,4832$ ,  $y=0,3045$  come coordinate di cromaticità che corrispondono al punto (A) del diagramma illustrato nella figura 4.6.; il valore Y di 13,37 indica che la mela ha una riflettanza del 13,37%.



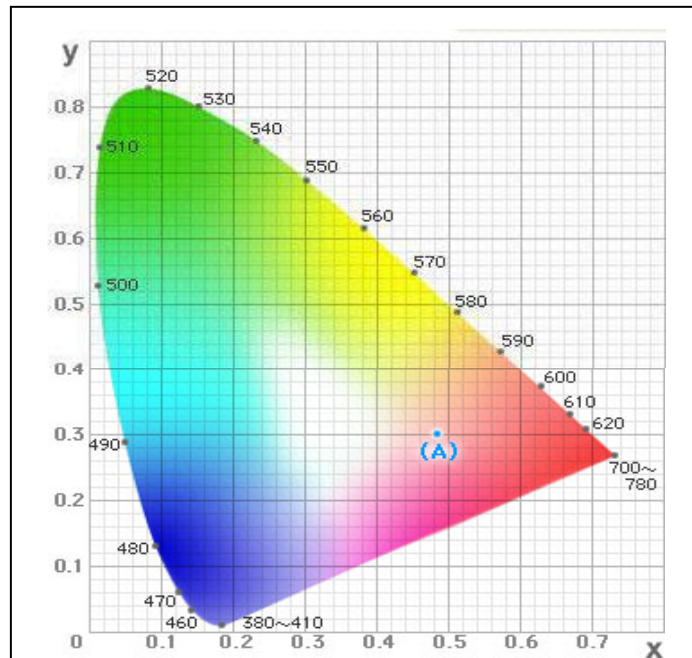


Fig. 4.6. Rappresentazione dei risultati (punto A)

### 4.3. Le differenze cromatiche

Le piccole differenze cromatiche sono uno dei problemi più seri nell'ambito del colore. Con un colorimetro le differenze di colore possono essere espresse numericamente e quindi facilmente comprese. Utilizzando lo spazio di colore  $L^*a^*b^*$  e  $L^*C^*h$  è possibile inoltre valutare, seguendo una certa procedura, la differenza di colore tra le due mele. Il diagramma della figura seguente contribuisce a facilitare la comprensione delle differenze cromatiche dello spazio di colore  $L^*a^*b^*$ .

Nello spazio di colore  $L^*a^*b^*$ , è possibile esprimere la differenza cromatica come singolo valore numerico,  $\Delta E^*_{ab}$  che indica la dimensione della differenza ma non la modalità.

$\Delta E^*_{ab}$  è definito, come già visto, dalla seguente equazione (10) qui riportata:

$$\Delta E_{ab} = \left[ (L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

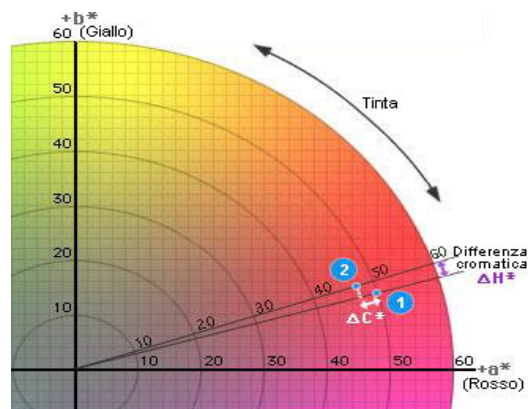
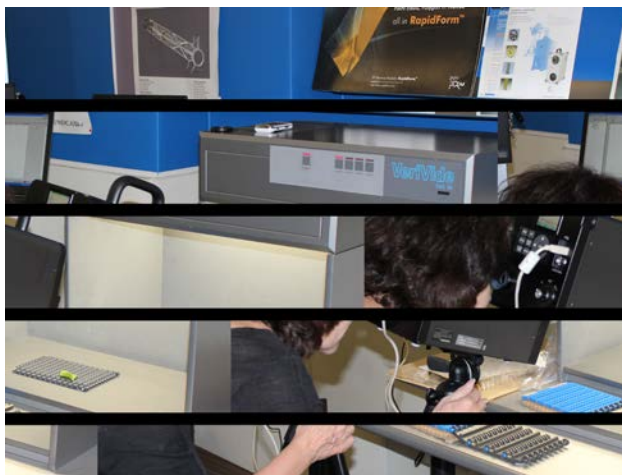


Fig.4.7. Rappresentazione delle differenze cromatiche tra le due mele

#### **4.4. Il 2D Color Analyzer CA - 2000**

Konica Minolta Sensing ha sviluppato il 2D Color Analyzer CA - 2000, uno strumento hardware/software in grado di fornire una misura accurata (*high resolution*) bidimensionale relativa alla distribuzione cromatica, l'uniformità, la luminanza di proiettori, display LCD o al plasma o altri pannelli di controllo. Una delle grandi innovazioni nello sviluppo di questo strumento di controllo risiede nell'estrema velocità di elaborazione e valutazione dei dati a partire dal processo di misura. Utilizzando filtri XYZ e sensori CCD ad alta risoluzione, questo strumento si combina con un semplice software, il *Color Management Software Ca-S20w*, accessorio standard, veloce ed efficiente nel fornire i dati di analisi, che possono poi essere trasferiti anche a Microsoft Excell e Microsoft Word. Questo apparecchio innovativo è in grado di misurare la distribuzione del colore, l'uniformità, la cromaticità e la luminanza sino ad una risoluzione di 980x980 punti di misura.

Nella mia ricerca di analisi di valutazione dei colori dei campioni di tappeti dei nastri trasportatori per Orogel, ho potuto utilizzare questo apparecchio innovativo presso la sede della *Konica Minolta* di Milano.



*Fig.4.8. Nella sede di Konica Minolta il 2D Color Analyzer CA- 2000 durante la sperimentazione per Orogel sui campioni di tappeti di differenti colori*

#### **4.5. Strumenti fotometrici**

##### **Il luxmetro**

Questo strumento misura l'illuminamento espresso in lux e generalmente ha un sistema di fotorivelazione che segue la *Legge del coseno di Lambert*. Nella misura dell'illuminamento si parte sempre dal presupposto che la superficie illuminata sia piana e ortogonale alla direzione media della luce illuminante.



*Fig.4.9. Il luxmetro portatile usato nella ricerca è il CL 200A, Konica Minolta*

## 5. Situazione attuale dei siti alimentari

### 5.1. Le normative vigenti

#### Colore

Secondo il Decreto Legge 2009.04.09 n. 81, salvo in casi particolari, nell'ambiente lavorativo sono consigliate le tonalità chiare.

Il *British Retailer Consortium* (BRC), che definisce gli Standard per la sicurezza alimentare, raccomanda l'uso del blu negli accessori usati e indossati dal lavoratore.

La certificazione secondo lo *Standard BRC* è oggi un requisito fondamentale richiesto da molte catene di distribuzione al dettaglio europee. Sviluppato dal BRC, lo Standard è progettato per accertare la conformità dei fornitori relativamente ai requisiti di legalità e sicurezza degli alimenti.

Lo Standard è attualmente riconosciuto dalla maggior parte delle catene al dettaglio inglesi, imprese di servizi che operano nel settore agroalimentare e da un numero sempre maggiore di catene distributive europee.

Qui a seguito i requisiti BRC che riguardano il colore blu.

Tab.5.1. I requisiti BRC in merito alle tinte da indossare nei siti produttivi alimentari

---

Requisito BRC	
7.3.8	Tutti i tagli e le ferite sulla pelle esposta devono essere coperti con un cerotto adeguatamente colorato, di colore diverso dal prodotto ( <b>preferibilmente blu</b> ), e contenente una striscia metallica rilevabile, ove sia utilizzata un'attrezzatura di rilevamento metalli/raggi X.
7.5.9	Se sono utilizzati guanti, essi devono essere sostituiti regolarmente. Ove opportuno, i guanti devono essere idonei all'uso alimentare, di tipo usa e getta, di colore distinguibile ( <b>blu ove possibile</b> ), essere integri e non sfibrarsi.

Lo *Standard IFS* (*International Food Standard*), sviluppato originariamente dai retailers tedeschi BDH (*Bundesvereinigung Deutscher Handelsverbände*), rappresenta il corrispettivo del BRC per i paesi dell'area centro-europea, specie per la Germania e la Francia. La certificazione secondo lo Standard IFS sta rapidamente divenendo un requisito fondamentale in quanto richiesto da molte catene di distribuzione al dettaglio europee, in particolare tedesche e francesi. I riferimenti sono i medesimi, tanto che si parla di requisiti BRC/IFS.

#### Luce

La Norma UNI EN 12464 prescrive valori dipendenti dal compito visivo anche per i seguenti parametri illuminotecnici: illuminamento e resa cromatica.

Qui a seguito in una tabella sono riportati i valori dell'illuminamento medio  $\bar{E}_m$  e della  $R_a$  prescritti dalla UNI EN 12464-1, per interni, in funzione della zona e delle attività svolte dal lavoratore.



Tab.5.2. Prescrizioni UNI 12464-1  
Requisiti di illuminazione per interni

<b>Industria alimentare</b>			
Ref.	Tipo di interno, compito e attività	$\bar{E}_m$ (lux)	Gruppo di resa cromatica
2.7.2.	selezione e lavaggio di prodotti, tritatura, miscelatura, confezionamento	300	1B
2.7.4	taglio e selezione di vegetali e frutta	300	1B per 1B si intende: $80 < Ra < 90$

La realizzazione dei compiti illuminotecnici è condizionata dai seguenti quattro fattori: sicurezza, comfort visivo, limitazione dell'abbagliamento, resa dei colori.

In merito alla visione, la visibilità di un oggetto è associata al suo contrasto rispetto allo sfondo. Pertanto il colore dello sfondo va scelto anche in funzione del colore dell'oggetto e quando è necessario discriminare i colori occorre un illuminante con un indice di resa cromatica più elevata possibile, attorno al valore di 90-95 e mai scendere ad un livello inferiore a 80 (Bonomo, 2010).

### **5.2. I colori più diffusi**

Le tinte più diffuse per le strutture, apparecchiature ed arredi, sono:

1. *Bianco*: acromatico e cromatico (di tonalità calde o fredde)
2. *Grigio*: in tonalità chiare del *grigio freddo* e del *grigio caldo*
3. *Blu*: limitato a strutture, ripiani, nastri trasportatori, macchinari e agli accessori indossati dal lavoratore

#### *Il bianco ed i neutri*

Nei siti produttivi del settore agro – alimentare i colori più diffusi sono di gran lunga il bianco assoluto, acromatico, e tutti i bianchi cromatici, i grigi chiari nelle sfumature fredde e calde, questi ultimi detti neutri.

Molto spesso in tutto l'ambiente regnano i bianchi. Tranne i pavimenti, solitamente scuri, i bianchi sono applicati a soffitti, pareti, infissi, strutture, pannelli termoisolanti, macchinari e banchi di lavoro.

Ciò è dovuto non solo al Decreto Legge 2009.04.09 n. 81.

Nei siti produttivi alimentari, dove si richiede massima pulizia e sterilità, e dove la mentalità degli operatori è estremamente tradizionalista e ancora molto poco aperta alle novità rispetto ad altri settori, come quello medico-ospedaliero, la tendenza a circondarsi quasi esclusivamente di bianco, acromatico e cromatico, è ancora molto diffusa, perché tutte le tonalità del bianco sono:

- indice di igiene, sterilità (lo si associa al colore della calce ed quindi alla sua azione battericida)
- garanzia di basso costo energetico per la sua elevata riflettanza
- garanzia di ottima visibilità

essendo tonalità che mettono in immediato risalto i depositi scuri di sudiciume, presenza di muffe e/o di resti alimentari.

Inoltre, in caso di dubbio in fase di realizzazione del sito, il bianco dà, spesso erroneamente, la certezza di non sbagliare: rappresenta una scelta comoda e poco impegnativa.

Si può parlare di *Inquinamento del Bianco (White Pollution)* quando tutto l'ambiente che circonda il lavoratore è bianco.

L'uso del bianco si estende dall'ambiente agli indumenti del personale, ai camici e molto spesso anche alle calzature o stivali in gomma indossati dal personale.

In ogni caso, laddove si trovino soffitti e pareti della stessa tinta non necessariamente bianche – come i bianchi cromatici o tonalità del grigio caldo/ grigio freddo, situazione molto frequente, si parla di *Inquinamento Monocromatico (Monochromatic Pollution)*.

Le strutture e i macchinari così come spesso le postazioni di lavoro, strutture e carrelli sono in *acciaio inox*, materiale molto diffuso in campo alimentare, ma dall'aspetto freddo.

Molto diffusi anche i piani di lavoro in *polietilene bianco*.

### *Il blu*

È il colore "vero", ricco di croma, più diffuso nei siti alimentari. Lo si trova indossato sempre dal lavoratore del settore come uniforme tradizionale (grembiule, giacche, guanti, copri maniche, copriscarpe, ecc.), ed è il colore più diffuso nelle attrezzature, strutture del sito, nastri trasportatori, piani di appoggio, parti in gomma/plastica di macchinari o strumenti, ceste contenitrici di vegetali. Là dove non c'è il bianco e/o le tonalità chiare del grigio freddo o caldo, c'è il blu, nelle sue tonalità più sature.

Il motivo della scelta di questo colore, che risale a tempi lontani, trova le sue radici nel fatto che il blu è una tinta assente tra i prodotti ortofrutticoli. Perciò si pensa che un corpo blu sia di immediata lettura e che l'occhio dell'operatore possa, tra i vegetali, individuarlo e riconoscerlo più velocemente come "corpo estraneo". Potrebbe trattarsi, ad esempio, di un pezzo di plastica/gomma blu (dovuto forse alla rottura di una cassetta/cesto o guanto) caduto tra i vegetali lavorati. Questo ragionamento non ha però alcuna base scientifica né colorimetrica.

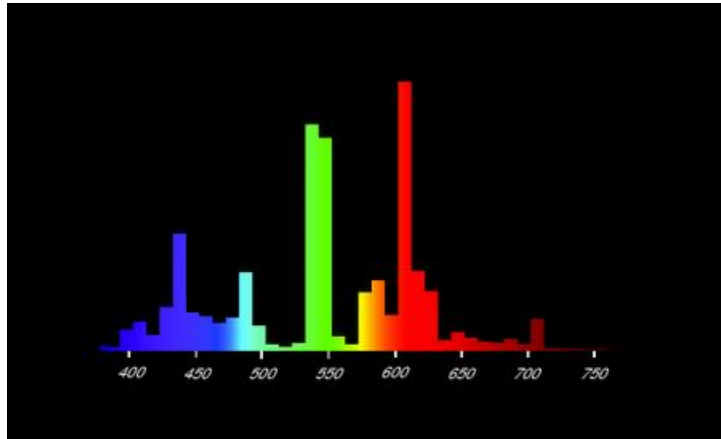
Da usanza tramandata negli anni è diventata un requisito BRC/IFS.

### **5.3. Gli illuminanti più diffusi**

Nei siti produttivi della IV Gamma sono solitamente assenti le finestre per evitare la luce naturale e gli insetti per non compromettere la *shelf-life* e la qualità del vegetale lavorato. Questo vale anche per molti siti della II Gamma.

L'illuminazione di tipo artificiale è dovuta nella maggior parte dei casi a lineari fluorescenti, CCT 4.000 K e  $R_a$  pari a 80, in plafoniere industriali a tenuta stagna, solitamente bitubulari.

Si tratta di luci neutre con una resa cromatica relativamente bassa.



*Fig.5.1. Spettro della fluorescente lineare Lumilux Osram T8 L15W/84, molto diffusa nei siti alimentari*

## 6. Colore ed illuminazione

### 6.1. Gli effetti del colore

Il colore simula la luce.

Il segnale luminoso proveniente dal chiasma ottico influenza il funzionamento dell'ipotalamo, della ghiandola pituitaria (ipofisi) e della ghiandola pineale (epifisi).

Secondo le numerose ricerche sugli effetti dei colori, risulta che questi influenzano, stimolandola o inibendola, la ghiandola pituitaria. Si tratta di effetti *non visual* (Ertel, 1978; London, 1987; Wohlfarth, 1958).

Queste conoscenze sono molto importanti per la progettazione cromatica di un luogo dove si staziona per parecchio tempo, dove si abita e dove si lavora.

Le onde con elevata lunghezza d'onda e bassa frequenza, vengono definite "calde". Sono tonalità che vanno dal giallo, all'arancione sino al rosso. Sono colori che, osservandoli, contengono del giallo, mentre le tonalità chiamate "fredde" contengono del blu e corrispondono a colori con basse lunghezze d'onda, come il blu e il violetto.

I colori "caldi", elevata lunghezza d'onda e bassa frequenza, stimolano la funzionalità dell'ipofisi e aumentano la sensazione di caldo e la sensibilità al trascorrere del tempo riducendo la sensibilità dell'udito, la sensibilità dell'olfatto, la sensibilità del tatto.

La luce con alta frequenza e bassa lunghezza d'onda, i colori "freddi", tendono ad inibire l'ipofisi, comportandosi in modo opposto: inducono un aumento della percezione del freddo, del tatto, dell'udito e dell'olfatto, mentre il tempo, quando si è circondati da tali tinte, sembra scorrere più lentamente.

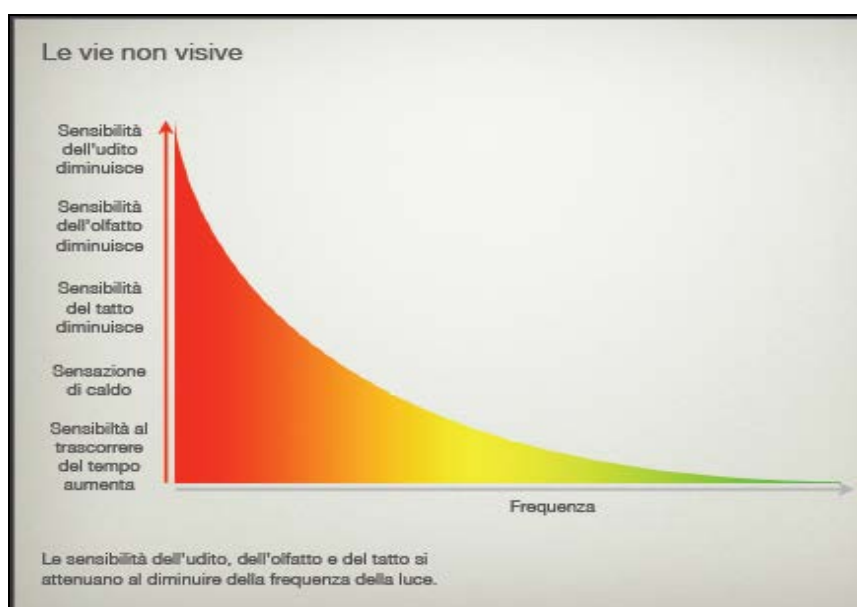


Fig.6.1. Le sensazioni indotte dalle tonalità calde agendo sull'ipofisi (fonte NCS)

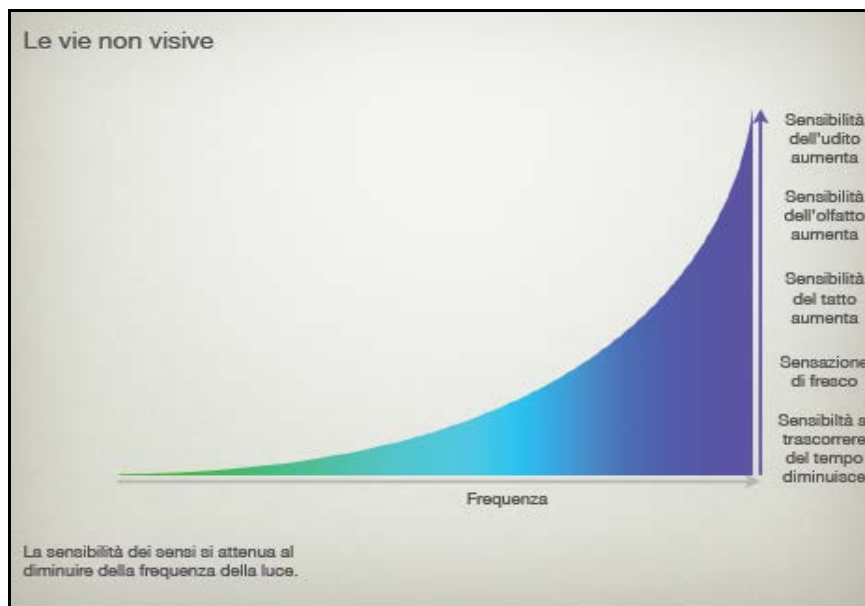


Fig.6.2. Le tonalità fredde inducono nell'uomo sensazioni opposte a quelle calde (fonte NCS)

### *Gli effetti sull'uomo dei cromatismi più diffusi nei siti alimentari bianco acromatico, bianchi cromatici, monocromatismi*

Gli effetti dei colori sull'uomo sono stati analizzati in realtà da tempo da molti ricercatori, filosofi, psicologici, esperti del colore, pittori, architetti, medici e neurologici che si sono occupati in particolare degli stimoli psicologici e fisiologici indotti da un colore.

Sono diffusi gli studi di *Birren, Frieling, Mahnke, Itten, Lüscher, Gerbert, Arnheim, Porter*.

Uno dei primi a studiare gli effetti dei colori sull'uomo fu il tedesco *Johann Wolfgang Goethe* che affermava già nel 1810 nella sua *Farbenlehre* che i colori caldi erano stimolanti e inducevano al movimento, pertanto li definì "attivi", al contrario di quelli freddi "passivi" e rilassanti. Questo concetto dei colori che inducono all'estroversione o all'introversione viene ripreso spesso da parecchi successivi studiosi così come viene in parte anche utilizzato nei Test psicologici basati sulla preferenza di alcuni colori come il più noto *Test di Max Lüscher*, il *Test di Frieling* e il *Test di Pfister*.

*Frank H. Mahnke*, uno dei più grandi esperti viventi di progettazione cromatica e dell'effetto esercitato dal colore sull'uomo, nel suo testo *Color, Environment and Human Response*, 1996, dedica tutto un capitolo agli effetti negativi di ambienti acromatici e monocromatici. Secondo Mahnke (1987), attuale Presidente dello IACC (*International Association of Colour Consultant*), le pareti bianche fecero la loro comparsa verso il 1955 e dopo 20 anni il bianco era sovrano, negli arredi interni e specialmente nel posto di lavoro: pareti, soffitti, piani da lavoro. Dopo il 1975, verso gli anni '80, il suo uso diminuì per ricomparire accostato al grigio, anch'esso preferibilmente acromatico: la ricerca di una neutralità cromatica che balzava agli occhi persino nelle strutture sanitarie.

Ma negli ultimi anni, dopo parecchi studi su questa tinta, il bianco o il bianco panna, le loro caratteristiche fisiche, quali la riflettanza, e le sensazioni indotte nelle persone che vi stazionano per lunghi tempi, mostrano che "quasi nessuno preferisce il bianco ad un altro colore", ad eccezione della progettazione di interni. Il bianco viene vissuto dalla maggior parte delle persone come colore "asettico", non ha effetti terapeutici e ci fa pensare ad un

luogo “privo di emozione”. La vita è colore e non invece, come il bianco, “ distacco e senso di vuoto”specie quando applicato al soffitto. Il Bianco “acromatico” è privo di *croma*, privo quindi “energia”. (Mahnke, 1998)

Già nel 1947 *Louis Cheskin*, successivamente direttore associato del *Color Research Institute of America*, affermava che le pareti bianche comportano un notevole sforzo per gli occhi e un rischio per la psiche. *Heinrich Frieling (1984)*, fondatore nel 1949 dell’ *Institut für Farbdynamik* e cofondatore e già Presidente dello IACC, come risultato di una ricerca sull’uso del colore negli ambienti lavorativi giungeva alla conclusione che le pareti bianche appaiono vuote, neutrali, senza vitalità e non ha un valore terapeutico.

Se si rimane a lungo in una stanza monocroma si verifica un fenomeno dell’adattamento: l’occhio perde la capacità di percepirla e non è più possibile controbilanciare l’effetto fisico. Il bianco inoltre rende difficile la concentrazione, produce una sorta di abbagliamento continuo in quanto la pupilla si restringe, lasciando entrare nell’occhio luce insufficiente. Si è costretti a mettere a fuoco dei dettagli affaticando l’occhio. Se a questo colore si aggiungono superfici lucide con riflessi abbaglianti si raggiunge un esito ancor più negativo (Tornquist, 1999).

Questa tinta, usata con luci opportunamente scelte e persistenti è stata usata anche come vera tortura.

Le autorità cubane per torturare i detenuti, li richiudevano spesso in piccole celle, completamente bianche al cui soffitto, rigorosamente bianco, appendevano molti tubi lineari fluorescenti che restavano sempre accese rendendo il locale accecante. Queste condizioni persistenti di abbinamento luce&colore, hanno causato persino notevoli e duraturi danni alla vista a molti detenuti (“*Time*”, 15. agosto 1983).

Molti psicologici concordano inoltre che sia i luoghi di cura sia i posti di lavoro di oggi dovrebbero apparire tutto tranne che “ospedali” e “ambienti lavorativi”. Questa tendenza, applicata prima nel Nord Europa, si è diffusa negli ultimi decenni anche in Italia, nelle scuole e nell’ambito sanitario ed ospedaliero, non ancora però nel settore agro-alimentare.

In Italia è difficile ormai trovare un ospedale con camere per pazienti, corridoi, sale di attesa e addirittura sale operatorie bianche.

Gli ambienti bianchi e monocromatici (bianchi cromatici, tonalità chiare di grigi freddi) possono provocare

- nausea
- disorientamento
- claustrofobia
- un accentuato disagio

e inoltre inducono

- sensazioni di freddo
- di assenza di calore e umanità

a scapito del benessere del lavoratore e anche del suo rendimento.

Gli esseri umani hanno bisogno di varietà sensoriale, in questi sono inclusi anche il colore e la luce. La monotonia crea ambienti tediosi che inducono svogliatezza e sonnolenza, ma può portare anche tensione, ansia e sensazione di claustrofobia (Mahnke, 1987).

Cromatismi e illuminazioni scelti in modo appropriato rappresentano degli ottimi stimoli ambientali. Allo stesso modo, se usati in modo non corretto possono causare gravi disagi.

Mahnke racconta che nel 1976 Rikard Küller, sperimentando su uomini e donne gli effetti prodotti in due ambienti totalmente diversi tra loro (una stanza grigia, asettica, priva di stimoli e una stanza piena di colori e di stimoli) ha dimostrato che la reazione cardiaca sia risultata più rallentata nella stanza colorata che in quella grigia. Persone soggette ad ipostimolazione mostrano segni di ansia e irrequietezza (1987). E' stato anche dimostrato dal famoso studioso Faber Birren (1988) che un ambiente iperstimolante e con eccessivi cromatismi, molto saturi, vaste zone colorate e grandi disegni, è anch'esso negativo sulla concentrazione e il benessere creando confusione e disorientamento.

In realtà, l'ambiente ideale è un ambiente in cui tutti i sensi dell'uomo vengono moderatamente stimolati in contemporanea. E' questo difatti ciò che avviene in natura, non soltanto per il cambio di colore e luminosità nell'arco della giornata, ma anche di temperatura e suono, odori e aromi, lo stesso movimento dell'aria.

La mancanza di stimoli induce sonnolenza, noia, monotonia, svogliatezza, inibisce il livello di vigilanza e di attenzione/concentrazione, riducendo il rendimento (Birren, 1988).

La conclusione di tutte queste ricerche è che

*le condizioni di staticità ed monocromatismo di un ambiente, di luce e di colore, sono innaturali e rappresentano il primo vero nemico in un ambiente lavorativo.*

*Queste condizioni sono le più frequenti nei siti produttivi nel settore agro- alimentare.*



*Fig.6.3. Questa immagine fotografa la situazione cromatica più diffusa in un'azienda alimentare*

Molti studi confermano che l'osservazione di un colore può provocare sensazioni non solo visive, ma anche olfattive, auditive e tattili. Un senso difatti può evocare gli altri e la ricezione simultanea di sensazioni differenti aumenta l'intensità dei trasferimenti sinestetici stimolati. (Luzzatto e Pompas, 2001; Tornquist, 1999).

Tab.6.1. Il colore è in grado di indurre sensazioni visive, olfattive, auditive, tattili

COLORE	UDITO	OLFATTO	GUSTO	TATTO
BIANCO	silenzioso	soave	debole	gelido
NERO	sordo	combusto	amaro	compatto
ROSSO	potente	penetrante	salato/piccante/hot	ardente
GIALLO	acuto	aspro	acido	aguzzo
VERDE	fruscante	balsamico	rinfrescante, neutro	umido
BLU	profondo	fresco	delicato, mild	freddo, bagnato
MARRONE	rauco	aromatico	bruciato	duro, solido
VIOLA (Lilla)	vibrante	inebriante	dolciastro	vellutato
ARANCIONE	sonoro	stimolante	matturo	caldo
GRIGIO	smorzato	morbido	amarognolo	amorfo
ROSA	delicato	fiorito	zuccherino	morbido

Le conoscenze di tutti gli effetti indotti da ogni colore sull'uomo sono indispensabili per una progettazione cromatica corretta ed efficace, specialmente in quei locali, in cui la sosta è prolungata e si deve svolgere un'attività, come nelle abitazioni, nelle scuole, negli ospedali e sul posto di lavoro. In accordo con le ricerche di Mahnke (1987) nei locali dell'amministrazione pubblica americana si evitano le pavimentazioni blu, perché tale colore "sotto o vicino ai piedi" tende ad aumentare la diuresi.

### 6.2. Gli effetti della luce

La gamma delle onde elettromagnetiche che arrivano dal cosmo è molto estesa: si va dalle onde radio, con lunghezze d'onda di parecchi chilometri ad onde di miliardesimo di centimetro.

Le onde che chiamiamo luminose sono quelle capaci di eccitare il nostro senso della vista e rappresentano solo una ridottissima porzione dello spettro elettromagnetico, definita come *spettro visibile*.

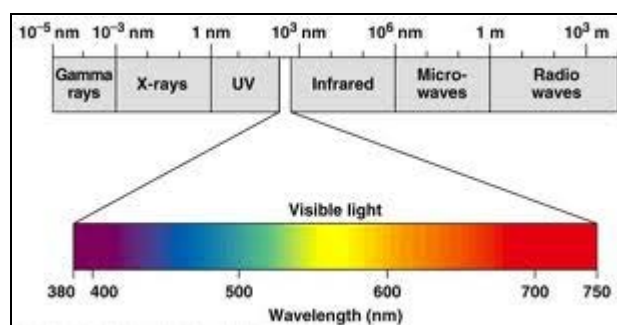


Fig.6.4. Lo spettro visibile è solo una piccola parte di tutte le radiazioni elettromagnetiche che colpiscono l'uomo

### 6.3. Luce naturale ed artificiale

Gli effetti della luce solare sull'organismo sono differenti da quelli indotti dalla luce di tipo artificiale.

#### La luce naturale

All'uomo arrivano tutte quelle radiazioni del cosmo che riescono ad attraversare l'atmosfera.



I nostri occhi percepiscono anche tutte le altre onde elettromagnetiche come i raggi infrarossi IR e i raggi ultravioletti UV, le cui lunghezze d'onda  $\lambda$  non sono trasformate in forme, colori ed immagini, ma che determinano reazioni da parte della ghiandola pineale o epifisi, della ghiandola pituitaria o ipofisi, da parte dell'ipotalamo, da parte dell'intero sistema endocrino e ormonale e di tutto l'organismo.

Tutte le onde elettromagnetiche, visibili e no, determinano effetti energetici e comportamenti in tutte le strutture della materia con cui interagiscono. Oltre che negli occhi e nel sistema visivo, l'intero organismo, ogni atomo e ogni cellula che lo costituisce, risponde e reagisce a tutte le  $\lambda$  che lo investono, anche se il nostro sistema visivo non riesce ad elaborarle in una forma visibile (Popp, 1992).

Due noti esempi sono: i raggi UV e gli infrarossi IR, entrambi invisibili all'occhio umano.

Radiazione della luce del visibile induce i seguenti effetti

- Attivazione della ghiandola pineale che secreta l'ormone melatonina
- Effetti endocrini automatici le ghiandole endocrine producono ormoni che vengono immessi direttamente nel sangue per essere portati in diverse zone del corpo umano di cui regolano e controllano le funzioni
- Influenza sul sistema circadiano, costituito da una serie di ritmi comportamentali e fisiologici (attività metabolica, funzionalità ghiandolare, del sonno) solitamente sincronizzati con la luce solare ripetendosi ciclicamente ogni 24 ore.
- Effetti sul rendimento e sull'affaticamento
- Fenomeni legati al tipo cognitivo, comportamentale ed emotivo.

Anche le radiazioni ultraviolette non visibili influenzano, a secondo del tipo (UV-A, UV-B, UV-C), l'organismo umano inducendo:

- sulla pelle: effetto attinico ed eritema
- produzione di vitamina D (trasformazione da provitamina in vitamina )
- effetti fisiologici di carattere generale: secondo gli studi di Ott (1985) gli UV abbassano la pressione del sangue

L'effetto di alcune radiazioni elettromagnetiche dello spettro ottico (i raggi UVB, la luce di Wood) viene usato spesso a scopo terapeutico per la cura di numerose malattie della pelle.

Le radiazioni infrarosse producono

- azione riscaldante
- vasodilatazione
- effetti sulla temperatura corporea
- effetti sul rendimento fisico e mentale (dovuto al variare della T)
- sensazioni di caldo, freddo, dolore.

La luce solare ha caratteristiche ben precise, molto diverse da quelle della luce artificiale tradizionale, non solo in termini di frequenze prodotte, ma anche in termini di variabilità giornaliera e stagionale.

L'uomo è abituato alla luce solare caratterizzata da una notevole dinamicità, poiché cambia di continuo nell'arco della giornata, sia per il passare del tempo, dalla mattina al tramonto, sia per la luce solare che varia in funzione anche del clima (nuvole, pioggia, ecc.). Una lunga esposizione alla luce uniforme e statica, come succede nei locali illuminati solo da luce artificiale comune, non dinamica, abbassa la sensibilità della percezione e porta a una situazione di stress (Tornquist, 1999).

### **La luce artificiale**

Ha come caratteristica principale uno spettro costante nel tempo, pertanto si parla di luce statica.

### *Le sorgenti luminose*

Per la classificazione delle luci, da incandescente a fluorescente sino agli attualissimi LED oltre ai loro dati tecnici, quali la potenza, la vita media ed altri, sono due le caratteristiche cromatiche che le caratterizzano: la temperatura di colore CCT (*Correlate Color Temperature*, detta anche *indice della tonalità di luce*), e la resa dei colori, più spesso denominata resa cromatica  $R_a$ .

Tab.6.2. Classificazione CIE delle sorgenti luminose in funzione della loro tonalità di luce

<i>Sigla che caratterizza il gruppo</i>	<i>Temperatura di colore (K)</i>	<i>Tonalità di luce</i>	
<i>W</i>	<i>CCT &lt; 3.300</i>	<i>calda</i>	Warm White
<i>I</i>	<i>3.300 &lt; CCT &lt; 5.300</i>	<i>neutra</i>	Natural White
<i>C</i>	<i>CCT &gt; 5.300</i>	<i>fredda</i>	Day Light
		<i>se CCT &gt; 6.500 K</i>	Cold White

I due fattori CCT e  $R_a$ , non collegati tra loro, individuano la possibilità di creare, agendo solo sulla luce, ambienti percepiti come gradevoli o sgradevoli (Kruithof, 1941)

Tab.6.3. Gruppo di resa cromatica  $R_a$  delle sorgenti luminose

<i>Gruppo di resa dei colori</i>	<i>Gamma di indici di resa cromatica</i>
<i>1 A</i>	<i><math>R_a &gt; 90</math></i>
<i>1 B</i>	<i><math>80 &lt; R_a &lt; 90</math></i>
<i>2</i>	<i><math>60 &lt; R_a &lt; 80</math></i>
<i>3</i>	<i><math>40 &lt; R_a &lt; 60</math></i>
<i>4</i>	<i><math>20 &lt; R_a &lt; 40</math></i>

Il tentativo di trovare un "parametro" per indicare la piacevolezza e la sensazione di benessere dati da una sorgente luminosa nacque quando furono introdotte le luci fluorescenti.

Difatti sino a 1935 e sino dopo la Seconda Guerra Mondiale guerra le luci erano ad incandescenza con CCT tipicamente calda, gradevole all'occhio, specie per valori non alti di illuminamento, in quanto ricordavano la luce naturale del tramonto, percepita dall'essere umano come particolarmente piacevole.

Le prime lampade fluorescenti, nate nel 1935, ma diffuse in realtà subito dopo la fine della Seconda Guerra Mondiale erano lineari e consumavano molto meno a parità di rendimento luminoso e di vita più lunga rispetto all'incandescente, quindi nettamente più vantaggiose economicamente. Avevano però inizialmente una bassa resa cromatica.

Per i suoi vantaggi la lineare fluorescente si diffuse ben presto sui posti di lavoro, e, in contemporanea si cercò di aumentare la sua resa cromatica: negli ospedali i medici avevano difficoltà a valutare correttamente il colorito del paziente alterato sotto quella luce né i lavoratori si sentivano a proprio agio. Nacque la necessità di definire la gradevolezza di una sorgente luminosa che tenesse conto sia del benessere percepito dall'uomo sia della visione corretta dei colori degli oggetti illuminati.

Il primo grande studio sulla gradevolezza delle sorgenti luminose percepita dall'uomo iniziò attorno al 1941, quando l'ingegnere danese *Arie Andries Kruithof*, autorevole ricercatore presso la Philips, effettuò degli studi che mettevano in relazione la sensazione cromatica e il benessere percepiti con l'effettiva luminosità della stessa.

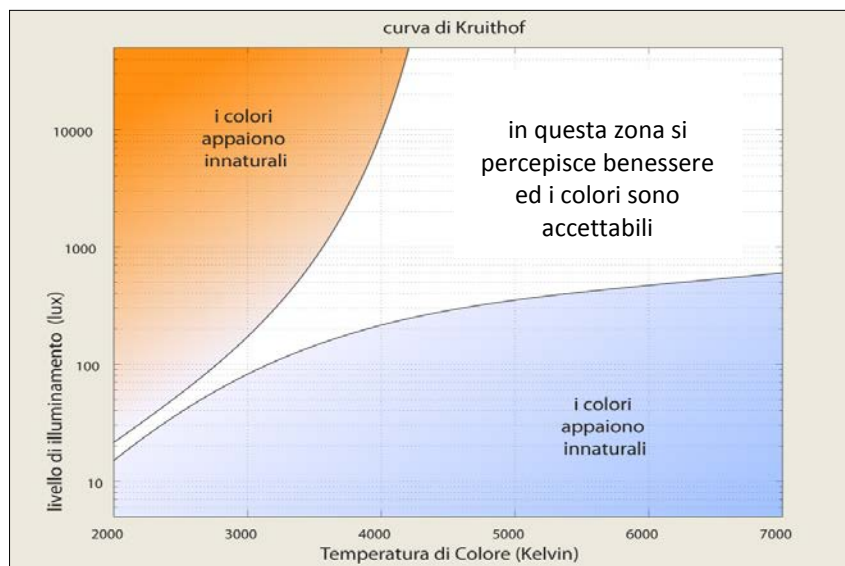


Fig.6.5. Diagramma di Kruithof

Questo studio fu il primo a mettere in evidenza l'importanza dell'aspetto cromatico della luce, la percezione della luce da parte dell'osservatore che ne valutava la gradevolezza e il benessere mettendo in relazione la temperatura di colore e l'illuminamento.

Dal grafico si nota che maggiore è la CCT di un illuminante e maggiore deve essere il valore dell'illuminamento per creare un ambiente piacevole e permettere all'occhio di distinguere i colori in modo corretto. Luci fredde sono adatte solo ad elevati illuminamenti > 700 lux . Questo è il motivo per cui la lampadina ad incandescenza, luce calda, la cui luce ricorda quella del tramonto, sia particolarmente gradita all'essere umano e ben si adatta a bassi illuminamenti, ai quali una luce più fredda indurrebbe sia un malessere ambientale sia uno sfalsamento delle tinte percepite.

### 6.3. Differenze tra luce naturale e artificiale

Tra la luce naturale e artificiale vi sono *differenze di intensità, di spettro, di staticità e di resa cromatica* elencate nella seguente tabella.

Tab. 6. 4. Le principali differenze tra luce naturale e artificiale

Proprietà	Luce naturale solare	Luce artificiale
<i>comportamento nel tempo</i>	<i>luce nel visibile con proprietà dinamiche, cambia nell'arco della giornata, in funzione dell'ora, del clima, della stagione</i>	<i>luce statica, lo spettro di emissione è sempre lo stesso</i>
<i>illuminamento</i>	<i>elevato illuminamento da 2.000 - 10.000 lux anche nelle giornate nuvolose</i>	<i>illuminamento basso, solitamente non oltre i 1.000lux</i>
<i>resa cromatica</i>	<i>elevata</i>	<i>inferiore, in funzione della curva spettrale della sorgente</i>
<i>spettro e lunghezze d'onda</i>	<i>ampio spettro</i>	<i>spettro limitato in funzione delle caratteristiche della sorgente luminosa, assenza dei raggi UV</i>

Lo spettro d'emissione che dal sole raggiunge la superficie terrestre cambia molto dalla mattina alla sera, dall'estate all'inverno attivando e stimolando funzioni endocrine e metaboliche in modo diverso nell'arco della giornata e delle stagioni. La sua ampiezza e continuità determina la sua elevata resa cromatica.

La luce artificiale, con resa cromatica inferiore dovuta a spettri di minore ampiezza e maggiore discontinuità, è statica e monotona, poiché lo spettro di emissione di una sorgente è sempre la stessa. Livelli di illuminazione stabile stancano gli occhi e anche gli altri sensi, riducendo la capacità funzionale e di concentrazione (Marchesi, 2002).

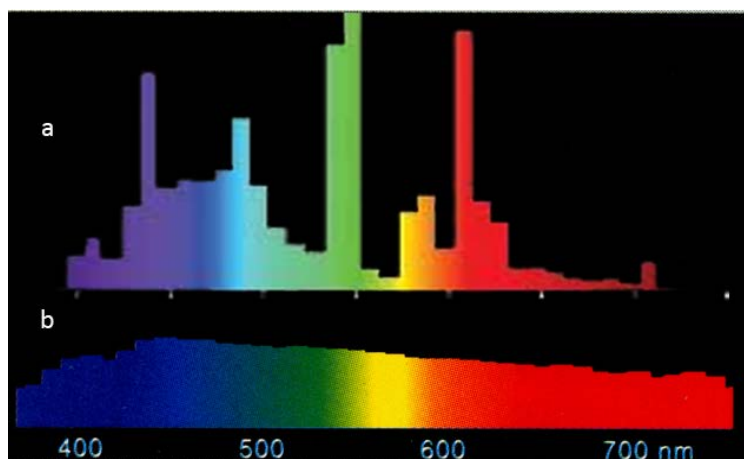


Fig.6.6. Spettro di una fluorescente (a) e spettro solare (b): differenze di ampiezza e continuità

La staticità della luce artificiale rappresenta il suo maggiore limite. Difficile darle dinamicità, se non con particolari luci innovative e molto costose.

La luce è stata prima analizzata nell'ambito della visione, e la letteratura corrispondente studia i parametri di valutazione come quello del contenimento dell'abbagliamento, la resa dei contrasti, le intensità luminose, la resa cromatica.

Lo studio degli effetti fisiologici della luce artificiale è relativamente recente. Pertanto oggi si progettano illuminanti in base al fatto che la luce, oltre che consentire la visione, ha influenza su fenomeni fisiologici, come la regolazione dell'ormone melatonina (Lewy et al., 1980), la vigilanza e l'attenzione degli individui (Monk et al., 1997), le prestazioni dei lavoratori, come i turnisti (Boyce et al., 1997, Frigueiro, 2001). Alcuni illuminanti contribuiscono alla cura di alcuni tipi di depressione come la Seasonal Affective Disorder (Lewy et al., 1982) o di disturbo del sonno (Lack et al., 1993).

Per soddisfare la relazione luce&benessere umano si è pensato di utilizzare la luce dinamica. Il sistema di illuminazione SIVRA è il primo risultato di una ricerca iniziata nel 1988 in collaborazione tra lo spazio S.A.S. di Milano, il CNR, iGuzzini, il *Lighting Research Center* del *Rensselaer Polytechnic Institute di Troy, New York*, e la *Futuro* di Firenze. E' stato realizzato per fornire dinamismo nell'illuminazione sia dell'intensità luminosa sia dalla direzionalità simulando la presenza di nuvole, condizioni di luce diffusa e della CCT della luce. Sul principio della dinamicità della luce sono stati realizzati in seguito altri sistemi (iGuzzini). La Philips ha sviluppato il sistema *Dynamic Lighting* basandosi sulle ricerche condotte da Wout Van Bommel, ricercatore presso il loro centro ricerche secondo cui la luce dinamica influisce positivamente sull'umore dei lavoratori. Questi studi hanno indagato la relazione luce-uomo per la stimolazione dell'attenzione, nei luoghi di lavoro, attraverso lo stimolo o l'inibizione di due ormoni antagonisti, la melatonina che induce il sonno e il cortisolo che lo inibisce.

Queste ricerche hanno portato alla realizzazione di apparecchi costosi e di difficile applicazione, questo è il motivo per cui nei siti produttivi le luci più frequenti restano sempre le lineari fluorescenti, per i loro bassi consumi e la loro notevole durata di oltre circa 20.000 ore.

La mancata e costante esposizione del corpo umano al completo spettro solare induce sull'uomo effetti collaterali negativi. Debolezza fisica, riduzione dell'efficacia del sistema immunitario, depressione, sovrappeso. L'uomo è nato per vivere alla luce solare e per vivere al meglio dovrebbe trovarsi in un ambiente illuminato dal sole. La luce artificiale, che è priva dei raggi UV e possiede molte frequenze distorte, può provocare inoltre una serie di effetti negativi (Ott, 1985).

La luce artificiale (tipica degli illuminanti per ambienti) non emette UV, perdendo così l'effetto benefico che alcuni tipi di UV possiedono.

Inoltre il vetro fa da schermo a tali radiazioni, pertanto anche una semplice finestra chiusa impedisce l'ingresso dei raggi ultravioletti della luce naturale.

*Questa situazione, in cui l'unica sorgente luminosa è data da illuminanti fluorescenti è tipica dei siti produttivi delle aziende nel settore agro- alimentare.*

#### 6.4. Il terzo recettore

D'interesse non solo nel settore illuminotecnico è la recente scoperta di un terzo tipo di recettore a livello retinico, oltre ai cono e bastoncelli, in grado di rispondere alla luce, non fornendo segnale visivo, ma influenzando invece su alcuni ormoni presenti negli essere umani (Berson e Dunn&Takao, 2002). Questo recettore sarebbe in grado di regolare il ciclo circadiano e di agire sui livelli di melatonina, influenzando in questo modo anche la capacità di attenzione e vigilanza delle persone (Marchesi, 2010).

Mentre è stata dimostrata l'esistenza del terzo recettore, pare si conosca solo una parte della sua azione sull'uomo, quella sul ciclo circadiano. Pertanto è ancora oggetto di molteplici studi che potrebbero aprire nuove frontiere sul legame tra le lunghezze d'onda e fisiologia del corpo umano, e, conseguentemente, tra luce e mente e quindi tra luce e benessere.

L'orologio circadiano è la centrale per la fotobiologia circadiana. E' localizzato nel Nucleo Soprachiasmatico (SCN) del cervello, regola i tracciati giornalieri (circadies, "di un giorno circa") dei ritmi fisiologici come il sonno e la veglia e ha un periodo di circa 24,5 ore.

Per tenersi in fase con il ritmo giorno/notte di 24 ore esatte ha bisogno della luce, che percepisce come "indizio temporale" (*Zeitgeber*).

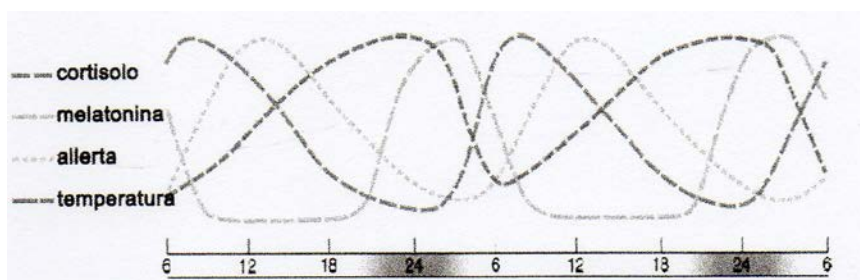


Fig. 6.7. Ritmi circadiani di cortisolo, melatonina, allerta e temperatura corporea. (Philips Lighting)

In condizioni normali la luce è lo stimolo primario per mantenere in fase l'orologio biologico: ogni ciclo sonno/veglia è resettato dalla luce per essere in fase con il ciclo giorno/notte.

In assenza di stimolazione luminosa e anche per la maggior parte delle persone non vedenti, il tracciato sonno/veglia del comportamento umano si desincronizza rispetto all'alternarsi di luce e oscurità all'esterno. I cambiamenti del ciclo giorno/notte, i turni di lavoro notturni ed i viaggi transmeridiani causano una desincronizzazione dei ritmi biologici da quelli ambientali di luce/buio, dando luogo a problemi di salute e disagi più o meno gravi a seconda dell'entità e della durata della desincronizzazione tra il ritmo endogeno e quello ambientale.

E' dimostrato da molte ricerche che la luce influisce sullo stato di salute e benessere. Può agire sia come causa di insorgenza di varie patologie sia come elemento curativo di varie malattie quali la SAD o sindrome affettiva stagionale, meglio nota come depressione invernale, il morbo di Alzheimer, la demenza ed i disturbi del sonno.

In termini fisiologici la luce deve penetrare attraverso gli occhi per essere biologicamente attiva e il fotorecettore per il sistema circadiano è la melanosina, sostanza presente in una piccola popolazione di cellule gangliari retiniche (1-3%). Gli assoni di queste cellule inviano il segnale al nucleo SCN che stimola a sua volta la ghiandola pineale a secernere la melatonina, ormone noto col nome di "ormone dell'oscurità biologica". La sua presenza può essere misurata nel sangue, nella saliva e nelle urine.

La sua secrezione segue un andamento che oscilla nell'arco delle 24 ore raggiungendo un picco durante le ore di oscurità. La sua produzione è inibita dall'esposizione alla luce durante le ore notturne. La presenza della melatonina nel sangue stimola il rilassamento ed il sonno così come la sua assenza favorisce la vigilanza.

Altre sostanze influenzano l'orologio biologico. Il cortisolo, noto come "ormone dello stress", che stimola un aumento degli zuccheri nel sangue, il sistema immunitario e protegge dalle infiammazioni.

Diversi fattori influenzano l'orologio biologico, come l'intensità della luce, lo spettro, l'orario dell'esposizione e la durata, fattori tutti in fase di studio. Pare che l'esposizione alla luce in diverse ore della giornata provochi degli sfasamenti della fase circadiana, avanzamenti o ritardi. In generale un'esposizione alla luce durante la mattina tenderebbe a fare avanzare il ciclo mentre l'esposizione alla luce di sera favorirebbe un ritardo di fase (Gugliermetti et al., 2010).

L'illuminazione artificiale è decisamente meno intensa di quella naturale.

I livelli di illuminamento artificiale in uffici, scuole ed industrie superano raramente il valore di 1.000 lux sul piano di lavoro (circa 200 lux a livello della cornea). Anzi, generalmente nei siti alimentari, sono decisamente inferiori, considerando che la norma richiesta è, generalmente, di 300 lux. Al contrario, gli illuminamenti della radiazione naturale subito dopo l'alba variano da 2.000-10.000 lux a livello del suolo, anche in giornate nuvolose.

Si pensa che gran parte degli ambienti chiusi abbia un'illuminazione troppo bassa per mantenere sincronizzato il ciclo circadiano e sopprimere la melatonina, per cui si è esposti all' "oscurità biologica" anche durante le ore diurne. La soppressione della melatonina è legata alla sensibilità della melanosina alle varie lunghezze d'onda della luce: tale curva di sensibilità è molto diversa da quella della visione fotopica e mostra una grande sensibilità alle lunghezze d'onda del blu, mentre una sensibilità scarsa o nulla alle lunghezze d'onda del rosso/arancio.

La curva di sensibilità circadiana, a tutt'oggi in fase di studio e di validazione, è stata ricavata sperimentalmente ed è riportata nel seguente grafico.

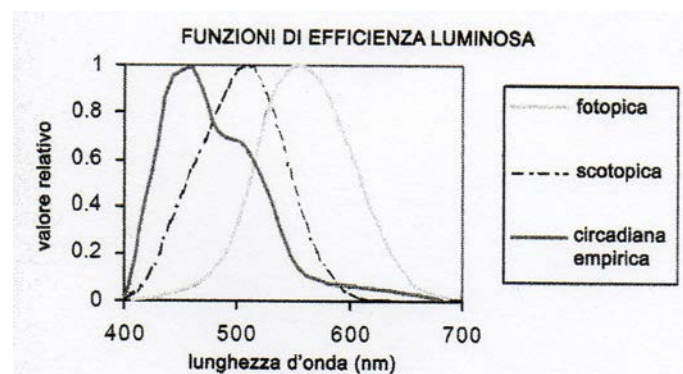


Fig. 6.8. curva fotopica, curva scotopica, curva circadiana empirica

La soppressione della melatonina in seguito all'esposizione luminosa non è istantanea. Si verifica a partire da circa dieci minuti dopo l'inizio della stimolazione del terzo fotorecettore, mentre il ritorno a livelli pre-stimolo si verifica quindici minuti dopo il termine della stessa:

ciò è dovuto al tempo necessario per la secrezione dell'ormone da parte della ghiandola pineale e a quello necessario alla sua emissione nel circolo sanguigno.

Alcune sperimentazioni hanno dimostrato che una "storia di illuminazione" caratterizzata da illuminamenti alti e prolungati per una settimana rende il sistema circadiano meno sensibile all'esposizione alla luce durante le ore notturne rispetto a soggetti con un'esposizione precedente a luce molto più bassa.

Pare sia importante anche il modo in cui avviene la variazione di stimolo luminoso.



## 7. IV Gamma: il Caso Solfarm Europe

*L'aggiunta del colore come strumento per stare meglio*

**Caso statico: analisi dei cromatismi ambientali del sito produttivo Solfarm Europe**

### **7.1. Introduzione e obiettivi**

Oggetto della presente analisi è un'azienda di piccola-media grandezza che distribuisce sul territorio nazionale col proprio marchio frutta e macedonia in confezioni, vaschette e vassoi, pronte per il consumo nei punto di vendita (PDV) di numerose Grandi Distribuzioni (GD). La *Solfarm Europe*, con sito produttivo a Castelvetro Piacentino, operando in condizioni di elevata igiene e partendo da un prodotto di elevata qualità, offre sul banco refrigerato della GD un prodotto con elevati standard di qualità e igiene, inalterate caratteristiche organolettiche e una *shelf-life* di sette giorni.

Le microcondizioni ambientali, l'elevata umidità e la bassa temperatura, l'illuminazione artificiale per la totale assenza di finestre, se da una parte sono a garanzia di un'elevata qualità del prodotto finale, dalla parte del lavoratore possono al contrario indurre disagi e discomfort. L'azienda presenta un basso livello di meccanizzazione ed il lavoro eseguito dal personale, in prevalenza multietnico e femminile, è per lo più manuale, ripetitivo e, dovendo stare sempre in piedi, anche stancante. Una planimetria del sito molto regolare a rettangolo, il soffitto alquanto basso, il monocromatismo ambientale e la staticità della luce artificiale creano un ambiente ipostimolante, favorendo monotonia e svogliatezza, abbassando anche il rendimento del lavoratore e la sua vigilanza a scapito sia della sua sicurezza sul lavoro sia della qualità del prodotto finale.

*L'obiettivo* della ricerca in questo sito è stato quello di migliorare il benessere percepito dal lavoratore, intervenendo sui colori ambientali, per aumentarne il comfort, la sua prestazione visiva durante la pelatura ed il taglio manuale, con l'obiettivo di dargli più energia e indurre sensazioni di calore in un ambiente in cui la temperatura non supera i 6-8°C.

Per la comprensione di questi studio la seguente tabella descrive in modo sintetico le fasi fondamentali della mia analisi, con i corrispondenti strumenti ed obiettivi.

FASE 1	AZIONI	OBIETTIVI
<i>Conoscere la IV Gamma</i>	<p>1. Incontri con direttori/responsabili della produzione di aziende del settore.</p> <p>2. Visita e sopralluoghi in diversi siti produttivi di aziende medio-piccole e grandi.</p>	<p>⇒ Ottenere informazioni sulle difficoltà del produttore e del mercato, dei cicli di lavorazione, sulla tipologia del sito, sulle condizioni strutturali e ambientali e sulle proprietà tipiche del settore durante la fase di produzione</p> <p>⇒ Focus dello stato dell'arte dei siti produttivi: analisi delle strutture (tipologia di costruzione, dimensioni, geometria), conoscenza dei macchinari (dimensione, struttura e posizionamento), analisi postazioni e piani di lavoro (postazioni fisse o mobili, materiali di realizzo, etc.) in generale analisi globale dei materiali, dei cromatismi e degli illuminanti più diffusi, valutazione delle condizioni microclimatiche.</p> <p>⇒ Osservazione del lavoratore in azione.</p> <p>⇒ Individuazione di problemi e eventuali disagi del lavoratore.</p>

FASE 2	AZIONI	OBIETTIVI
<i>Analisi di un sito produttivo del settore</i>	<p>Individuazione del sito produttivo IV Gamma da esaminare. Sua analisi approfondita per definirne lo stato di fatto.</p>	<p>⇒ Definizione della tipologia costruttiva, delle sue dimensioni, delle strutture, dei piani di lavoro, dei macchinari e valutazione dei corrispondenti materiali.</p> <p>⇒ Definizione e misurazione delle condizioni microclimatiche.</p> <p>⇒ Individuazione delle sorgenti luminose e relative caratteristiche.</p> <p>⇒ Analisi degli apparecchi di illuminazione e dati tecnici.</p> <p>⇒ Misurazione dell'illuminamento generale e in corrispondenza delle postazioni di lavoro.</p> <p>⇒ Definizione di tutti i colori e loro misurazione mediante strumentazione opportuna: dai singoli prodotti lavorati alle strutture sino ai singoli capi di vestiario di dotazione del lavoratore. Realizzazione di una Cartella Colore con notazioni NCS:</p> <p>⇒ Misurazione della riflettanza dei colori delle strutture e degli arredi</p>

FASE 3		AZIONI	OBIETTIVI
<i>Strumenti per definire il welfare percepito dal lavoratore</i>	1. Realizzazione di un primo questionario anonimo ( <i>Questionario Solfarm 1</i> ) con domande mirate da distribuire al personale	⇒ Elaborazione delle risposte del questionario e conseguente individuazione degli eventuali disagi e dei malesseri del lavoratore e valutazione delle loro preferenze cromatiche	
	2. Elaborazione e valutazione di tutte le misurazioni effettuate nella fase precedente	⇒ Definire le soluzioni per migliorare le condizioni ambientali	

FASE 4		AZIONI	OBIETTIVI
<i>Individuare colori e luci di progetto per il sito produttivo</i>	1. Individuazione, in base allo stato dell'arte della luce, della fisica, colorimetria e percezione cromatica e dei risultati emersi dal <i>Questionario Solfarm 1</i> , di 6 tinte (4 per le pareti e 1 per plafone e pavimento) con parametri colorimetrici più idonei per il sito in esame ed individuazione di nuove luci.	⇒ Usare le tinte e le luci nuove come strumenti per migliorare l'illuminamento e la visibilità, il benessere percepito dal personale, stimolare la sensazione di calore percepito e rendere l'ambiente più naturale, luminoso e più stimolante	
	2. Individuazione della notazione NCS delle 6 tinte (NCS INDEX 1950 ORIGINAL 1950 ORIGINAL)	⇒ Codifica in linguaggio universale dei colori scelti	
	3. Preparazione del corrispondente smalto ad acqua satinato	⇒ Applicazione di 5 delle 6 tinte scelte su pannelli in forex	
	4. Individuazione di luci più idonee	⇒ Sostituzione di alcune fluorescenti tubolari .	

FASE 5		AZIONI	OBIETTIVI
<i>Simulazione nel sito di pareti e soffitto con i colori individuati</i>	1. Applicazione alle 4 pareti e al plafone di pannelli colorati con i 5 colori individuati per simulare l'effetto di pareti tinteggiate con i colori proposti	⇒ Il personale, vedendo durante il lavoro nel sito i nuovi colori applicati a parete e plafone, ed è in grado di valutarne gli effetti ed i gradienti..	
		⇒ Stimolare la percezione di un ambiente più caldo.	

FASE 6	AZIONI	OBIETTIVI
<p style="text-align: center;"><b>Valutazione dei risultati della simulazione cromatica</b></p>	<p>1. Realizzazione di un questionario mirato e successiva somministrazione dello stesso al personale (<i>Questionario Solfarm 2</i>)</p>	<p>⇒ Comprendere e valutare l'eventuale miglioramento del comfort nell'ambiente lavorativo mediante il confronto del questionario pre e post esperimento</p> <p>⇒ Individuare le preferenze cromatiche delle diverse <i>nuances</i> delle tinte applicate direttamente nel sito</p>

## **7.2. Materiali e metodi**

### **Fase 1**

I sopralluoghi ai siti produttivi di *Fleurette*, *Bonduelle* ed ad altre aziende minori ed i colloqui con i responsabili della produzione confermano quanto già appreso in letteratura.

I cromatismi presenti seguono norme vigenti, usanze acquisite nei tempi e valutazioni di strategia aziendale.

In Bonduelle, per simulare il colore del logo aziendale, azione molto diffusa, le grandi porte esterne di uno stabilimento sono state pitturate di giallo. Ben presto si è dovuto cambiare colore per l'aumentata presenza di insetti e mosche, a supporto degli studi condotti da molti entomologi che affermano che il giallo attrae gli insetti (Suess, 2008).

E' da tenere presente che i siti della maggior parte delle aziende alimentari sono lontani dal centro abitato ed in piena campagna.

### **Fase 2**

L'azienda Solfarm Europe s'è resa disponibile per la ricerca con sopralluoghi nel suo sito produttivo per le misurazioni ed analisi, la distribuzione dei questionari ai lavoratori, la realizzazione di prove colore in loco e fornendomi la documentazione e le informazioni necessarie.

Al fine di comprendere al meglio le motivazioni di metodo e gli strumenti scelti per la realizzazione del progetto in esame, si rende necessario chiarire alcune nozioni fondamentali sullo stato di fatto della IV Gamma esaminata.

### *Tipologia ambientale e di preparazione alimentare*

Il sito produttivo si presenta come un unico grande locale rettangolare di circa 20 x 15 metri di altezza interna di circa 2,9 metri. E' privo di finestre.

La materia prima, frutta di stagione o tropicale, arriva direttamente al sito trasportata da camion. Nel locale avvengono tutte le fasi della lavorazione sino al confezionamento.

Un sistema di ventilazione forzata immette nel locale aria a bassa temperatura. L'impianto di ventilazione è posizionato al centro del locale percorrendolo per tutta la sua lunghezza e funziona ininterrottamente creando un'emissione sonora alquanto fastidiosa, anche se al di sotto dei valori consentiti.

La lavorazione è fatta prevalentemente a mano: selezione, mondatura, lavaggio, pelatura, taglio, sistemazione in vaschetta, pesatura, controllo.

La vaschetta viene successivamente messa sul nastro delle 2 macchine confezionatrici per ottenere il prodotto finale pronto per il trasporto.

Altri macchinari presenti in loco sono una pelatrice per il kiwi e una macchina tagliatrice per l'ananas. La frutta a volta staziona, tra una fase di lavorazione e l'altra, in una grande cella frigorifera situata in un angolo del sito dove viene mantenuta a una temperatura di 4°C.

I lavoratori si alternano durante il loro turno alle numerose postazioni di lavoro, che spesso cambiano la loro ubicazione nel sito, scambiandosi durante la giornata le differenti mansioni. Le postazioni di lavoro sono costituite prevalentemente da tavoli/banchi quadrati e rettangolari più o meno lunghi, in acciaio con piani in acciaio inox o in propilene bianco.

Il lavoro è eseguito sempre in piedi ed i turni sono di 8 ore.

### Le condizioni microclimatiche

- *La temperatura*

La temperatura di lavorazione è bassa e non supera gli 8°C.

### *L'umidità UR*

Gli abbondanti lavaggi quotidiani con acqua sia del prodotto sia delle postazioni, di strumenti e pavimento, l'uso giornaliero di detergenti per sanificare ambiente e strutture, l'assenza di finestre rendono l'ambiente umido. Il pavimento è quasi sembra bagnato e spesso il lavoratore indossa stivali in gomma.

Il valore medio è di 75%.

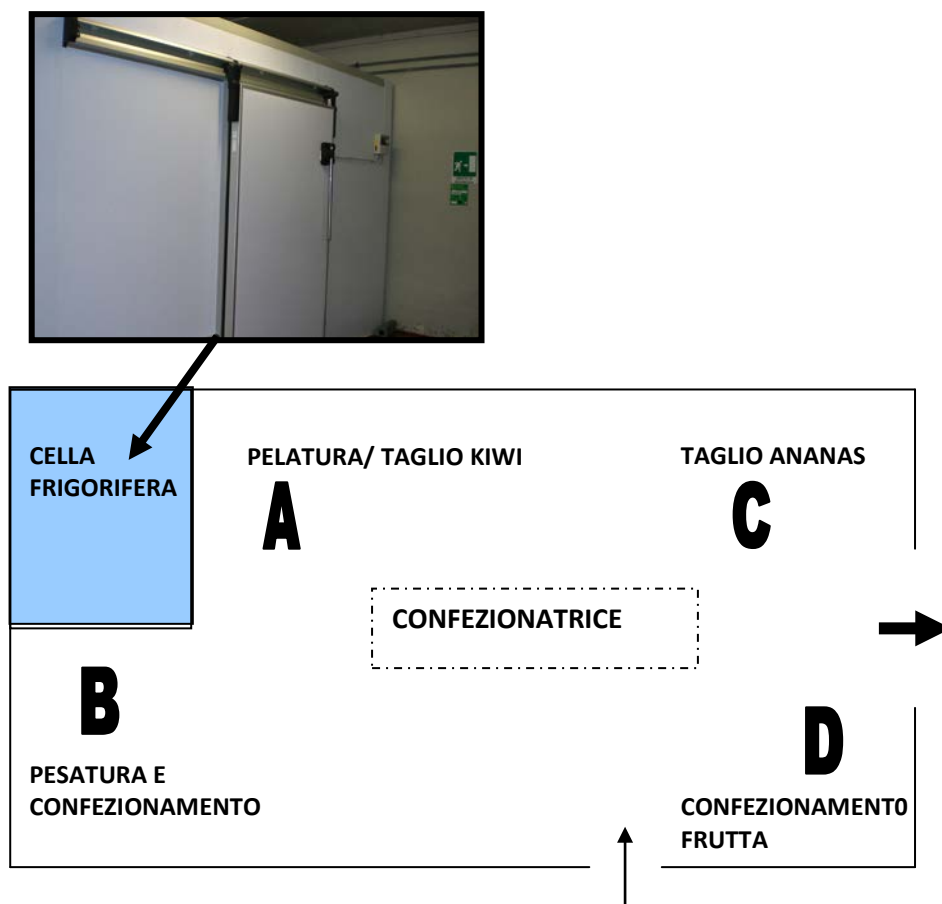


Fig.7.1. Schema del sito produttivo analizzato e sue principali zone di lavorazione

### L'illuminazione e misurazioni

Per l'assenza di finestre l'illuminazione è garantita da 40 fluorescenti lineari, lunghe 150 cm, in 20 apparecchi di illuminazione a tenuta stagna, appesi al plafone formando tre lunghe file, a distanza di circa 100 cm l'uno dall'altro.

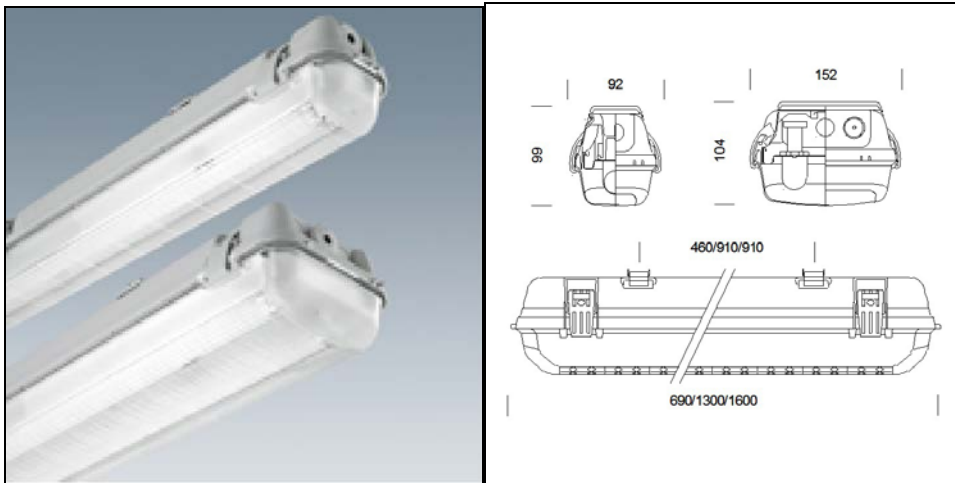


Fig. 7.2. Gli apparecchi di illuminazione presenti nel sito

Gli apparecchi di illuminazione ( figura 7.2.) sono plafoniere bitubolari (DISANO, modello 920 Hidro, 230V, 50Hz, FL FD 2X58W G13). Ogni apparecchio è alimentato da due lineari fluorescenti, Philips Master TLD 58W – 840- 5240 lm, 150 cm. Le loro caratteristiche cromatiche garantiscono una tonalità di luce neutra (CCT= 4.000K) e una resa cromatica  $R_a = 80$ , valore accettabile, ma migliorabile.

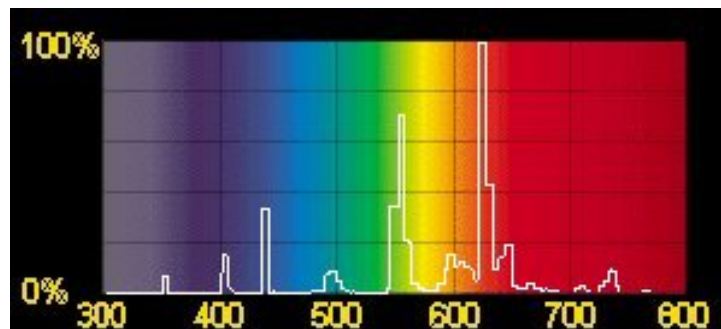


Fig.7.3. Spettro della fluorescente Philips Master TLD 58W-840, luce molto in uso nei siti alimentari

### *Misure di illuminamento*

Strumento: Luxmetro CL200A, Konica Minolta

L'illuminamento è risultato generalmente a norma (300 lux) in corrispondenza della maggior parte delle postazioni.

Solo nella zona A, zona di lavorazione del kiwi, l'illuminamento è risultato insufficiente e di poco sotto la norma (da figura 7.1., zona A; valori rilevati:  $230 \text{ lux} < E_v < 290 \text{ lux}$ ; valore medio  $\bar{E}_m = 281 \text{ lux}$ , media di otto misurazioni effettuate).

### *Colori e misurazioni*

La maggiore superficie delle pareti e tutto il plafone sono rivestiti da pannelli termoisolanti identici tra loro, la cui superficie liscia presenta micronervature sanitarie.

Alcuni tratti delle pareti sono smaltate di un colore molto simile a quello dei pannelli: il locale appare quindi monocromatico all'occhio del lavoratore e la tinta dominante è un colore grigio caldo chiaro, desaturato. Le zone delle tre pareti smaltate presentano una zoccolatura alta circa 90 cm costituita da pannelli in PVC grigio scuro. Il pavimento, in resina epossidica, è rosso mattone.

L'uniformità del materiale di plafone e pareti, il soffitto non alto, *il monocromatismo* e le strutture ed arredi prevalentemente in acciaio inox rendono l'ambiente di lavoro statico, distaccato, neutro e privo di stimoli aumentando nel lavoratore la percezione di freddo.

### *Bianco e blu*

Come è in uso nei siti produttivi alimentari questi due colori sono molto diffusi. Il bianco e il blu, nelle sue *nuances* sature, sono distribuiti nei piani di lavoro e strutture, nelle parti in gomma delle macchine per il taglio della frutta e delle confezionatrici, così come nei capi indossati dal personale. I camici sono bianchi, come le cuffie e spesso anche i grembiuli e gli stivali di gomma. Gli accessori monouso sono blu: i camici, i guanti in lattice o polietilene o nitrile, i copri maniche, i copri scarpe, i grembiuli di gomma.

Il sito appare come una grande scatola fredda ed umida simile ad una cella frigorifera.



*Fig.7.4. La pavimentazione rossa in resina epossidica*





*Fig.7.5. Particolare del plafone rivestito da pannelli termoisolanti con micronervature*



*Fig.7.6. I pannelli termoisolanti del soffitto rivestono la maggior parte delle pareti rendendo il locale monocromatico*



Fig. 7.7. Tipico abbigliamento blu e bianco di un lavoratore nei siti alimentari

L'unica nota di colore nel sito è data dai molteplici colori saturi delle diverse varietà di frutti lavorati.



Fig.7.8. I cromatismi dei frutti lavorati

### **Misurazioni cromatiche**

Strumenti:

Colorimetro Chroma Meter II, Konica Minolta

NCS - Index 1950 Original

Tutti i colori presenti nel sito del soffitto, delle pareti, del pavimento e degli arredi/strutture sono stati individuati e misurati così come anche la loro riflettanza  $Y_1$ .

Le tinte delle superfici piane sono state misurate usando il sistema NCS ed espresse nelle corrispondenti notazioni NCS.

### **Colour Presence: colori del prodotto lavorato**

I frutti lavorati nel sito al momento della ricerca sono stati misurati con il colorimetro ed espressi nelle loro tre coordinate colorimetriche dello spazio colore  $Yxy$ .

I loro valori riportati nella tabella 7.1. sono la media di otto misurazioni effettuate.

Tab.7.1. Le coordinate colorimetriche Yxy di alcuni frutti lavorati

Frutto	Colore percepito	Spazio CIE Yxy		
		Y	x	y
ANANAS	giallo	35,70	0,364	0,395
MANGO	giallo	29,82	0,423	0,445
FRAGOLA	rosso	7,10	0,490	0,314
PAPAIA	rosso	17,60	0,466	0,380
KIWI	verde	18,40	0,352	0,415
UVA	blu scura/nera	5,90	0,325	0,307

### Colour Presence e Colour Distribution

#### Colori Esistenti: Arredi



Piano di lavoro propilene



NCS S 0502-B



Ripiano acciaio inox



Acciaio Inox



Postazioni e Macchinari



Acciaio Inox



Nastri trasportatori



Acciaio Inox



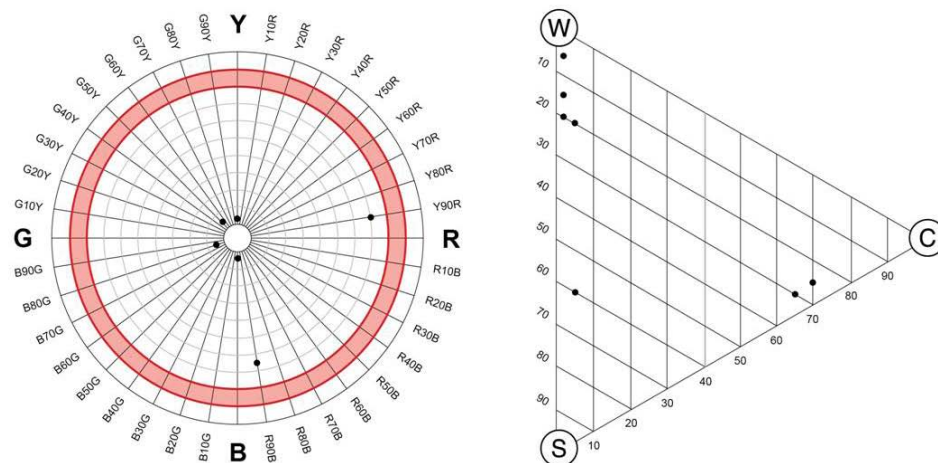
Tagliere



NCS S 3065-R90B

## Posizionamento delle tinte

### Colori Esistenti



Le codifiche NCS e il posizionamento dei colori ambientali nel cerchio cromatico NCS confermano l'elevata luminosità della maggior parte dei colori del sito e l'elevata saturazione del blu (piani d'appoggio) e del rosso. (pavimentazione).

### Fase 3

#### Questionario Solfarm 1

E' stato realizzato per individuare in modo approfondito lo stato attuale del welfare del lavoratore e conoscerne gli eventuali disagi percepiti. Il *Questionario Solfarm 1* è stato distribuito a tutti i 33 lavoratori (prevalentemente di sesso femminile, età media 30 anni) e compilato in modo anonimo (Questionario Solfarm 1, Allegato 1).

Le sue domande sono state realizzate secondo la procedura standard del settore ed i principi di progettazione cromatica secondo il metodo suggerito da Mahnke (1987) i cui criteri di indagine prevedono domande dirette ed indirette sulla preferenza dei colori, dei loro parametri (luminosità, etc.) e dei tipi di luce (artificiale, diurna, crepuscolare, etc.), sulle sensazioni da loro indotte da processi sinestetici.

La parte del questionario inerente al benessere segue le linee guida di un'indagine sul benessere organizzativo condotta dal "Laboratorio sul benessere" del programma Cantieri del Dipartimento della Funzione Pubblica in collaborazione con la Cattedra di Psicologia del Lavoro della Facoltà di Psicologia 2 dell'Università "La Sapienza" di Roma. Il questionario è stato integrato con alcune domande proposte dal Comitato Pari Opportunità aziendale. Quanto detto vale per tutti i questionari elaborati in questa ricerca.

### I risultati

I lavoratori hanno risposto al questionario in modo seguente:

- Il 100% associa il colore in un posto di lavoro al conferimento di vitalità ed energia, l'80% al calore e all'evocazione della natura.

- Alla domanda sul colore da loro in assoluto più amato, valutazione estremamente soggettiva, ma anche influenzata dalla società e cultura di appartenenza, a seguito le risposte date.
- Il 40% preferisce il verde
- Il 30 % il blu
- Il 20% il rosso
- Il 10% altre (giallo, arancione, lilla, rosa, bianco, nero).

Questo non conferma ciò che emerge da molte indagini sinora condotte sull'argomento (Lüscher, 1976; Porter, 1982; Frieling, 1986) che parlano di una preferenza del blu tra gli occidentali adulti.

La preferenza del verde si potrebbe spiegare con un desiderio di "natura" e forse con un' elevata presenza di extracomunitari mussulmani tra i lavoratori, per i quali il verde è un colore religioso o che "ricorda la bandiera del mio paese" (come scrivono ben 8 lavoratori su 33).

Nel seguente grafico i disagi emersi dal test.

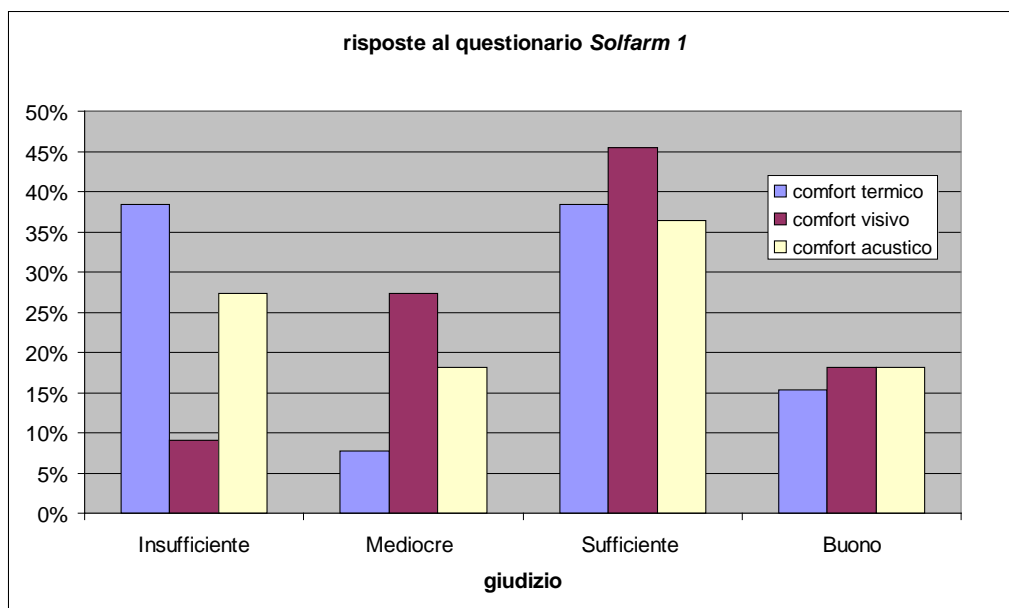


Fig.7.9. Risultati del Questionario Solfarm 1

I grafici nella figura 7.9. confermano i discomfort visivi e termici già emersi dall' analisi del sito condotta nella Fase 2.

#### **Fase 4**

##### *Obiettivo della progettazione cromatica e proposta luci*

L'obiettivo che sta alla base della scelta delle tinte per la progettazione cromatica e di una nuova proposta di sorgenti luminose è quello di migliorare il welfare dei lavoratori e si basa sulle seguenti azioni:

- togliere staticità ambientale
- conferire energia vitale e rendere l'ambiente più stimolante
- aumentare la percezione di calore
- rendere l'ambiente meno distaccato e più gradevole

Ciò significa a livello cromatico:

- eliminare il monocromatismo ed i bianchi, acromatici e cromatici
- ridurre i neutri
- inserire nell'ambiente del *croma*

#### **Progettazione cromatica**

Per individuare le tinte di un intervento cromatico è necessario valutare i diversi fattori ambientali in parte già visti e riassunti nella seguente *Check List*.

*Tab.7.2. Check List del sito Solfarm Europe*

<b>Fattori presenti</b>	<b>Stato di fatto</b>
Formazione di polvere/ vapore	Pulito
Temperatura, sensazione caldo/freddo	Temperatura sito produttivo T= 6 °-8°C
Acustica/suono	Valore medio: 74.5 dB
Rumore	Emissione continua dovuta alla ventilazione e rumore causato da 2 macchine confezionatrici accese in modo discontinuo, ma nella norma. Assenza di rumori impulsivi. I lavoratori addetti alla produzione non sono sottoposti a vibrazioni meccaniche.
Clima ( secco/ umido)	Umido. UR media 75%
Associazione gusto, olfatto	Leggero profumo di ananas
Presenza/assenza stimoli- monotonia	Monotonia
Colori da evitare	giallo e nero (attrazione di insetti e mosca domestica)
Segnaletica/cartellonistica necessaria	Uscita emergenza, antincendio, cassetta pronto soccorso
Raccomandazioni di sicurezza/divieti	Non fumare
Luce naturale diurna	Assente, locale privo di finestre
Luce artificiale	Fluorescenti lineari, 4.000 K, R <sub>a</sub> = 80
Illuminamento sulle postazioni di lavoro	In generale nella norma (su alcune postazioni di lavoro < 300 lux)
Destinazione	Preparazione frutta pronta all'uso e suo confezionamento
Fruitori	Personale prevalenza femminile ed extracomunitario; età media 30 anni
Disagi emersi dal Questionario Solfarm 1	comfort acustico, termico e visivo non soddisfacenti

### *Principi ispiratori per una buona progettazione cromatica per un sito alimentare*

L'azienda alimentare, come ogni altra azienda, dovrebbe avere un'immagine coerente e uniforme in ogni zona. L'intervento cromatico dovrebbe estendersi in modo coerente dal sito produttivo alla zona commerciale, come l'ingresso per i clienti, la *hall* e la *reception* sino agli stessi uffici.

La proprietà non deve cadere nell'errore molto comune di riprendere il colore del logo aziendale, perché questo, per la maggior parte delle aziende alimentari, conterrà spesso delle note di giallo.

Particolare attenzione nella scelta dei colori sarà data ai loro parametri di

- *luminosità*: le tonalità chiare evidenziano depositi indesiderati (sudiciume, muffe, etc.)
- *riflettanza*: un' elevata riflettanza garantisce il contenimento dei costi per l'illuminazione

### *Principio base 1*

#### *Il colore simula la luce*

Il principio fondamentale che sta alla base di ogni intervento cromatico è che " il colore comunica la luce" (Tornquist, 1999).

*Tab.7.3. Le tinte ed i loro effetti indotti*

### **Il colore simula la luce**

<b>TINTE</b>		<b>EFFETTO E PERCEZIONE INDOTTA</b>
calde	⇒	ambiente più gradevole, temperatura percepita più alta
fredde	⇒	ambiente meno invitante, temperatura percepita più bassa.
chiare	⇒	ambiente più luminoso, spazio percepito più ampio
scure	⇒	ambiente meno luminoso, spazio percepito più ridotto

### *Principio base 2*

In un ambiente lavorativo, dove il lavoratore passa molto tempo, è bene riportare le condizioni che l'uomo percepisce, da sempre, quando si trova a contatto con la natura.

In natura l'uomo è circondato, in alto, dal colore più chiaro del cielo illuminato dalla luce del sole, in basso il colore più scuro, la terra dove mette i piedi, che lo sostiene e gli dà stabilità, e i colori di chiarezza intermedia si trovano attorno a lui: sono le sue "pareti" naturali.

E' molto importante che tali rapporti siano riproposti e mantenuti in un sito produttivo, specie nel sito produttivo Solfarm Europe, dove il soffitto non è alto e rivestito e dove, come in tutte le IV Gamme, il pavimento è spesso umido e bagnato.

Secondo Mahnke (1987), autorevole esperto di progettazioni cromatiche ed altri famosi studiosi del settore (Porter ;1982; Tornquist 1999) in ogni ambiente chiuso deve essere mantenuto il seguente rapporto di riflessione ottimale tra plafone, pareti, pavimento e arredi.

20% per i pavimenti

25-40% per gli arredi

40-60, max 70 % per le pareti

80-90% per i soffitti

Aumentando l'umidità ambientale e quindi *l'effetto nebbia* il rapporto di riflessione qui proposto va modificato di conseguenza e quindi aumentati i contrasti tra plafone, pavimento, parete e arredi.

*Principio base 3*

Il pavimento di un ambiente lavorativo deve dare sensazioni di solidità e di asciutto (Mahnke, 1987).

*Principio base 4*

Eliminare dall'ambiente lavorativo le tinte sature che per ridurre il fenomeno dell'*Afterimage*.

*Principio base 5: per il settore agro-alimentare*

Evitare tutte le tonalità del giallo e del nero perché attira gli insetti, come la mosca domestica (Hennig, 1950) e, in presenza di odori persistenti, quelle tonalità che li possano esaltare (Frieling, 1979).

*Principio base 6: importante nel settore IV Gamma e II Gamma*

Evitare tutte le tonalità fredde che esaltano la sensazione del freddo percepito, come le tonalità del blu che inoltre, se applicati al pavimento, aumentano la sensazione di umidità (Mahnke, 1987). Inserire sfumature calde per riscaldare l'ambiente (Goethe, 1810; Porter, 1982; Meerwein et al., 2007).

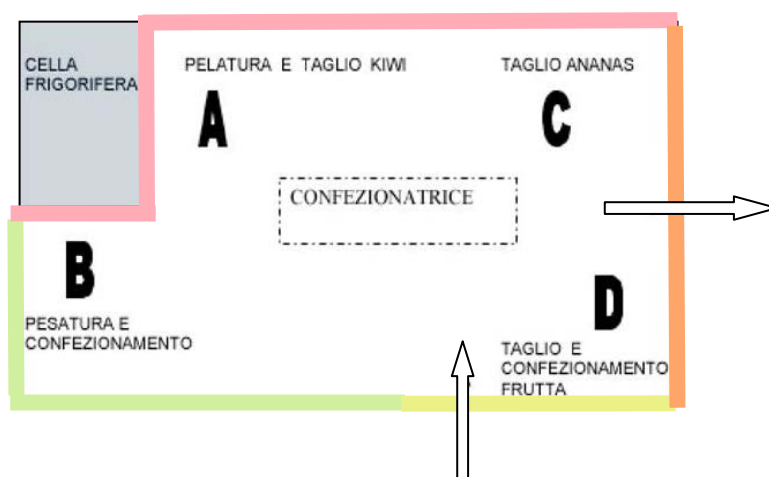


## Fase 5

### PROPOSTA CROMATICA 1

Comprende l'individuazione delle 6 tinte, 4 per le pareti, 1 per il plafone, 1 per il pavimento, delle loro notazioni NCS, riflettanza  $Y_i$  e della loro distribuzione nel sito.

La sua presentazione è stata realizzata seguendo i criteri del Metodo degli Scenari secondo Valan, che si basa sulle armonie cromatiche e metacromatiche e prevede una Cartella Colori con codifica NCS. Questo vale per tutte le proposte cromatiche di questa ricerca.



<b>PLAFONE</b> $Y_i = 79,44$ NCS S 0515-Y20R	<b>PARETE 2</b> $Y_i = 63,33$ NCS S 0540-G30Y	<b>PARETE 1</b> $Y_i = 50,54$ NCS S 0540-R10B
<b>PAVIMENTO</b> $Y_i = 32,58$ NCS S 4005-Y20R	<b>PARETE 3</b> $Y_i = 75,55$ NCS S 0540-G60Y	<b>PARETE 4</b> $Y_i = 56,51$ NCS S 0540 -Y50R

### Distribuzione delle tinte

Allo scopo di conferire dinamicità al sito monotono e dalla planimetria troppo regolare si propone che ogni parete abbia una tinta diversa, mantenendo invariata la loro *nuance*

(0540) per creare armocromia ambientale. In questo modo il lavoratore, spostandosi da una postazione all'altra, ha differenti sensazioni e stimoli, in funzione del colore della parete che gli sta di fronte.

### **Scelta delle tinte**

Trattandosi di personale multietnico la scelta cromatica impone di evocare esperienze primordiali "universali" positive, vissute da tutti, indipendentemente da differenze culturali, sociali, etc.

#### **Plafone**

- *Colore caldo e chiaro*: per schiarire il plafone rendendolo meno incumbente e più alto, scaldare l'ambiente e simulare la luce solare che viene dall'alto.

#### **Pavimento**

- E' il colore con minore luminosità per conferire solidità e neutro per evitare la *Colour Pollution*.

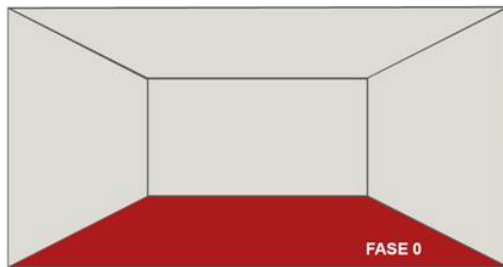
#### **Pareti**

- *Il Rosa*: questa sua particolare *nuance*, infonde ottimismo e allegria, avvicinandosi al complementare del verde del kiwi: è da applicare espressamente nella zona della sua lavorazione (zona A). Da molte ricerche emerge che il rosa è un colore che piace alle donne: considerazione valida per il personale Solfarm Europe in prevalenza femminile (Tornquist, 1999; Rizzi, 2011).
- *Il Verde* evoca la natura, è un colore rilassante ed il più amato dal personale (Valan, 2011; *Questionario Solfarm 1*).
- *Il Verde caldo* (nome comune: verde lime) è energizzante ed aumenta la percezione di calore (Mahnke, 1987).
- *L'Arancione*, tonalità calda, è vitale e stimolante, fa passare velocemente il tempo, induce sensazioni di calore ed evoca l'esperienza del tramonto (Tornquist, 1999).

### **Le fasi di applicazione delle tinte proposte**

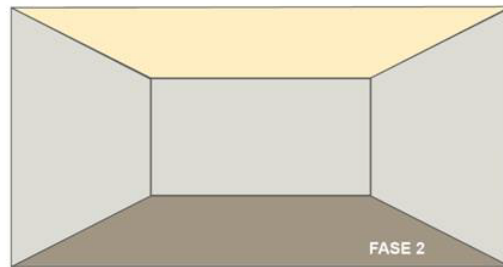
A seguito le tappe grafiche di applicazione delle tinte proposte in accordo con il rapporto di riflessione ottimale raccomandato.

Si noti che tale intervento cromatico prevede un aumento della riflettanza: per il plafone si passa da  $Y_1 = 56$  dei pannelli ad un valore di  $Y_1 = 79,44$ ; per le pareti da  $Y_1 = 56$  ai valori rispettivamente di  $Y_1 = 63,33$  (verde),  $Y_1 = 75,55$  (verde lime),  $Y_1 = 50,54$  (rosa),  $Y_1 = 56,51$  (arancione); per il pavimento da  $Y_1 = 11,9$  a  $Y_1 = 32,58$ .



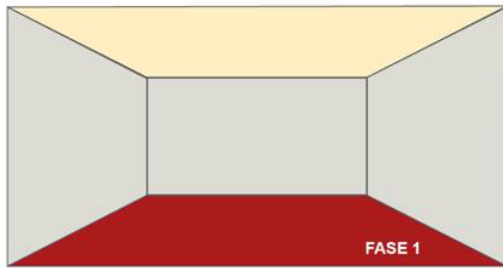
**FASE 0:**

- Soffitto grigio caldo chiaro  
NCS S 2002-Y (Riflettanza  $Y_i = 56$ )
- Pareti grigio caldo chiaro  
NCS S 2002-Y / smalto NCS S 2002-G50Y  
(Riflettanza  $Y_i = 56$ )
- Pavimento rosso scuro  
NCS S 2570-Y90R (Riflettanza  $Y_i = 11,9$ )



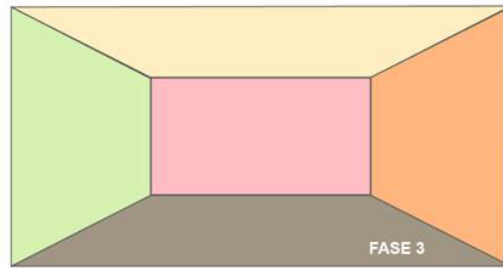
**FASE 2:**

- Schiarimento del pavimento (dopo il soffitto)
- Soffitto bianco cromatico caldo  
NCS S 0515-Y20R (Riflettanza  $Y_i = 79,44$ )
- Pareti grigio caldo chiaro  
NCS S 2002-Y/ smalto NCS S 2002-G50Y
- Pavimento grigio medio caldo  
NCS S 4005-Y20R (Riflettanza  $Y_i = 32,58$ )



**FASE 1:**

- Soffitto bianco cromatico caldo  
NCS S 0515-Y20R
- Pareti grigio caldo chiaro  
Colore pannelli NCS S 2002-Y/  
smalto NCS S 2002-G50Y
- Pavimento rosso scuro  
Colore NCS S 2570-Y90R



**FASE 3:**

- Dopo schiarimento del soffitto + pavimento  
introduzione dei colori alle pareti
- Soffitto bianco cromatico caldo
- Pavimento grigio medio caldo
- Parete 1 verde
- Parete 2 rosa
- Parete 3 arancione
- Parete 4.verde/giallo, verde lime  
(fuori dalla figura)

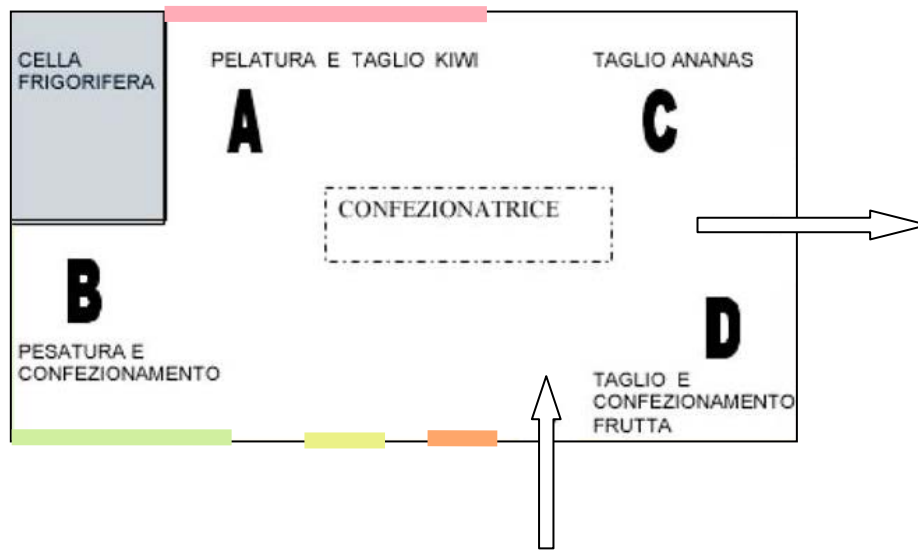
**Fase 5**

Prevede la preparazione di smalto ad acqua satinato delle tinte individuate per il loro inserimento in loco per una loro successiva valutazione da parte del personale mediante un test di gradimento, il *Questionario Solfarm 2*.

Alla pratica non è stato possibile applicare, per disposizioni interne, il colore del pavimento e le tinte delle pareti secondo la distribuzione definita nella Proposta Cromatica 1, anche per l'impossibilità di intervenire sulle pareti della cella frigorifera.

Per simulare le pareti colorate due tinte, l'arancione e il verde caldo (verde lime), sono state inserite nel locale applicando lo smalto a grandi pannelli in forex (3m x 1,8m) poi affissi alle pareti. Stessa procedura per il pannello col colore del plafone. Lo smalto rosa e verde sono stati applicati nel sito direttamente alle pareti intonacate.

La distribuzione cromatica attuata nel sito è descritta nella figura seguente.



*Fig.7.10. La distribuzione delle tinte nel sito Solfarm Europe per la simulazione delle pareti colorate per la loro valutazione*

Di seguito vengono riportate delle foto esplicative dell'esperimento sopra descritto.



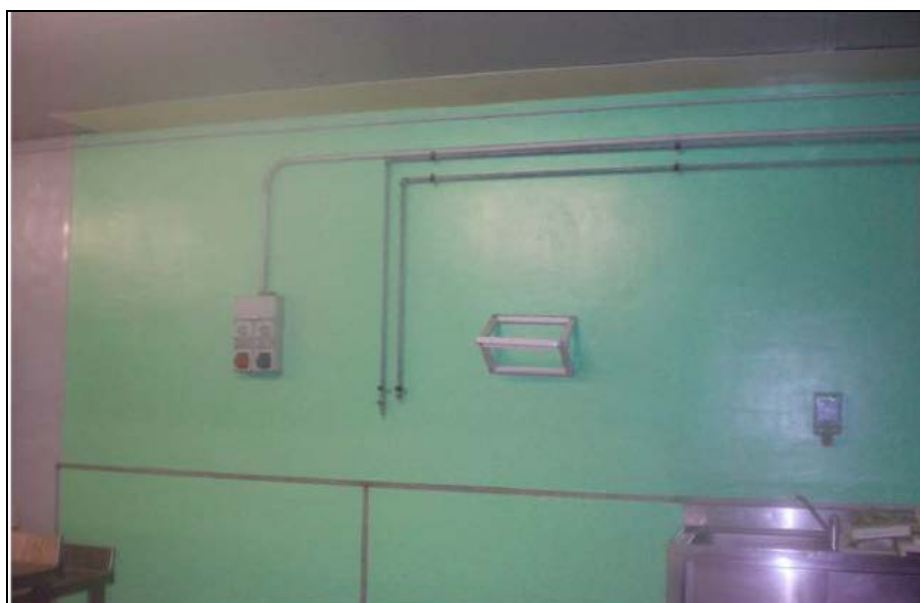
*Fig.7.11. Affissione del pannello smaltato con la tinta proposta per il plafone*



*Fig. 7.12. Zona A di lavorazione del kiwi. Lo smalto rosa è stato applicato direttamente alla parete e lo zoccolo grigio ricoperto da pannelli in forex smaltati con la stessa tinta per creare una parete uniforme.*



*Fig.7.13. Arancio e verde caldo, NCS S 0540-G80Y, da me applicati su pannelli (3 m x 1,8m) e poi fissati alla parete. Si noti come il pannello verde appare giallo*



*Fig.7.14. Lo smalto verde, NCS S 0540 - G30Y, è stato applicato direttamente alla parete intonacata*

#### *Alcune considerazioni*

Le tonalità del giallo sarebbero state teoricamente le sfumature ideali per la IV Gamma in quanto aumentano il calore percepito, hanno un'elevata riflettanza perché estremamente luminose, evocano il benessere della luce calda del sole e ripropongono, in un ambiente chiuso, meglio di qualsiasi altra tinta la sensazione di un'illuminazione simile alla luce naturale.

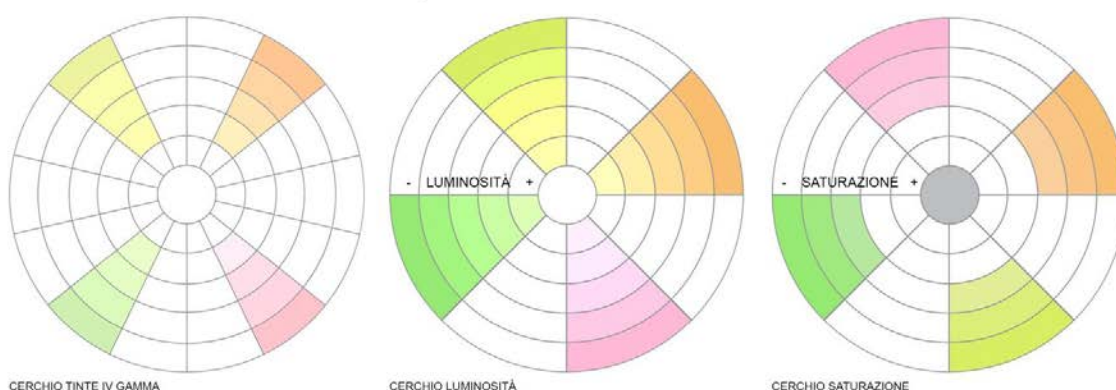
### L'importanza delle prove a muro

Quando si propone un colore, questo viene individuato a tavolino facendo considerazioni teoriche. Sono previste sempre poi le prove a muro, in loco, indispensabili per individuare la giusta *nuance* della tinta. Difatti molti sono i fattori che possono poi far decidere per una diversa *nuance* o addirittura un diverso piano di tinta, quali la luce effettivamente presente, l'influenza dei cromatismi ambientali, così come la dimensione della parte colorata e altri fattori ancora, quali le proprietà della superficie da colorare come il suo *gloss*. In Solfarm Europe le prove a muro sono state effettuate applicando direttamente nel sito le tinte proposte.

La *nuance* 0540 dei quattro colori delle pareti indica una saturazione alta. Questa scelta è mirata in quanto si è voluto che le tinte inserite fossero ben visibili al lavoratore per poterle valutare. In caso di realizzo effettivo, queste tinte andrebbero modificate, desaturandole e schiarendole.

I tre cerchi seguenti mostrano rispettivamente le quattro tinte base proposte (a sinistra), e le loro possibili modifiche intervenendo sulla scala della luminosità e saturazione.

### Cerchio Cromatico: Colori Proposti



Il verde caldo, NCS S 0540 - G80Y, verde lime, applicato nel sito è risultato troppo giallo; inevitabile quindi raffreddarlo, in caso di sua applicazione.

Il colore del plafone è risultato troppo caldo e, accostato alle quattro tinte delle pareti, rende l'ambiente troppo "colorato"; va sostituito con un colore neutro.

### Fase 6

Al fine di ottenere dei risultati statistici per valutare l'effetto dell'intervento cromatico ed il suo gradimento, è stato realizzato un questionario post- intervento realizzato secondo gli stessi criteri del primo e distribuito agli stessi 33 lavoratori dopo circa cinquanta giorni dall'intervento cromatico (*Questionario Solfarm 2*, capitolo Allegato 2). L'obiettivo non è solo capire il gradimento delle quattro tinte base, ma anche di altre due loro sfumature.

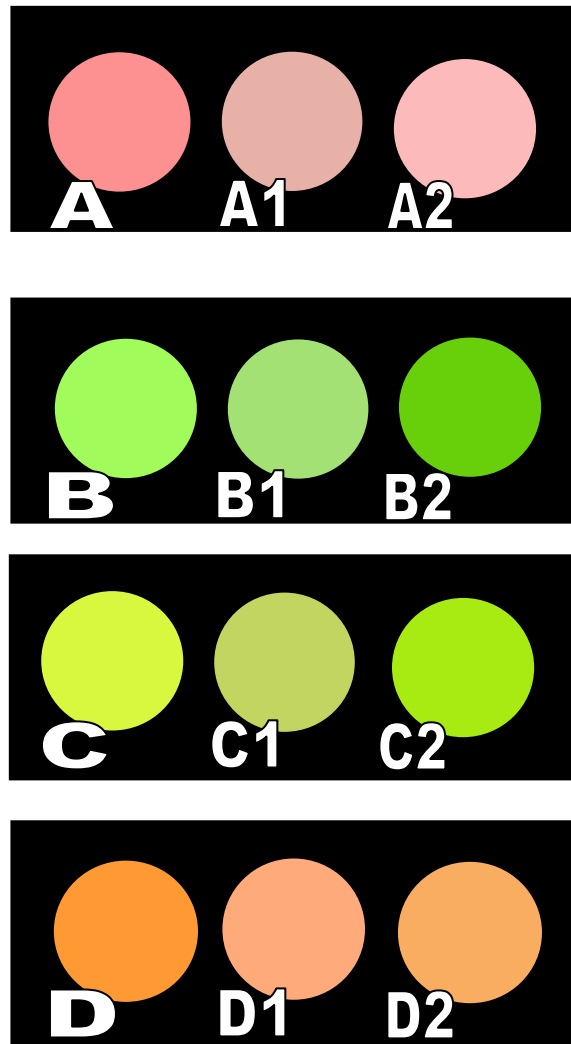


Fig.7.15. Questionario Solfarm 2: le sfumature oggetto di valutazione e votazione

Le tinte A, B, C e D sono state applicate direttamente nel sito.

La sfumatura con sigla 1 rappresenta una sfumatura desaturata della tinta base. La sfumatura con la sigla 2 è una *nuance* più chiara, ad eccezione della C2 che rappresenta una tonalità di verde meno calda, in quanto il verde/giallo (colore C) è apparso troppo giallo.

### **Intervento sulla luce**

Durante la sperimentazione nella zona A (figura 7.10.) sono stati sostituiti sei tubi fluorescenti con altre fluorescenti, stesso modello, ma con CCT = 3.000 K per scaldare l'ambiente.

### **7.3. Risultati**

#### **Colore**

La compilazione del *Questionario Solfarm 2* non è stata eseguita da tutti i lavoratori seguendo le indicazioni di valutazione/votazione suggerite. Alcuni hanno risposto in modo incompleto e poco esauriente.

Dall'analisi dei risultati emerge che la maggior parte degli intervistati gradirebbe lavorare in un ambiente con una nota cromatica diversa dall'attuale.



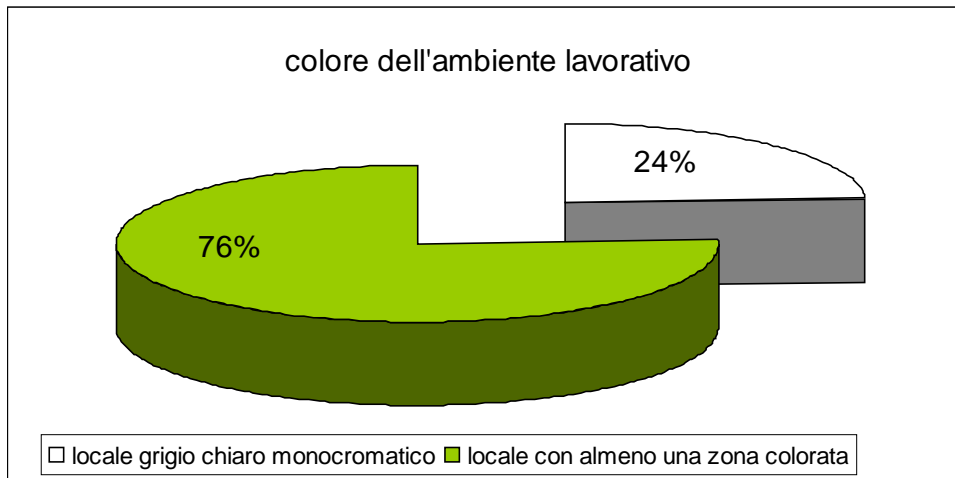


Fig.7.16. Risultato della preferenza tra un sito monocromatico e uno colorato

Per quanto attiene alla preferenza dei colori proposti emerge nuovamente come il verde sia il colore più votato.

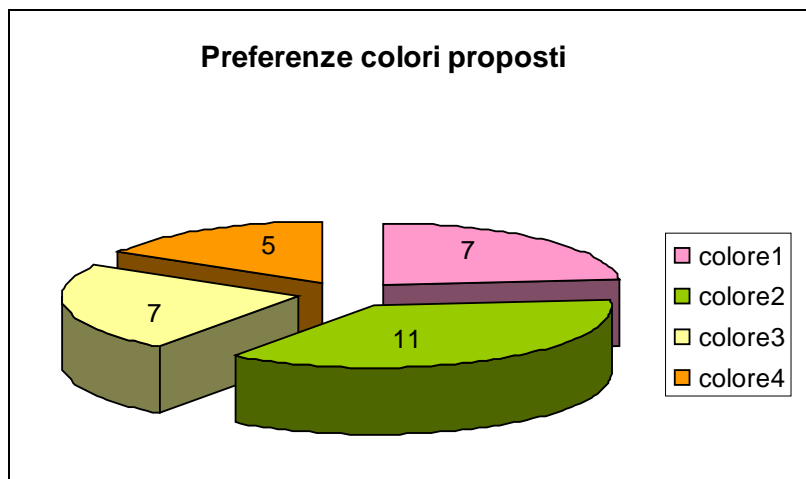


Fig.7.17. Risultato sulla preferenza accordata ai colori proposti

Tale osservazione viene confermata anche dalla seguente votazione media (da 0 a 10) data ai colori in esame. Alla base di tale preferenza cromatica tra le motivazioni elencate, l'evocazione alla natura, al prato e all'erba sono state le più gettonate.

Sei lavoratori affermano di preferire il verde, perché ricorda la bandiera del loro paese (18,18%).

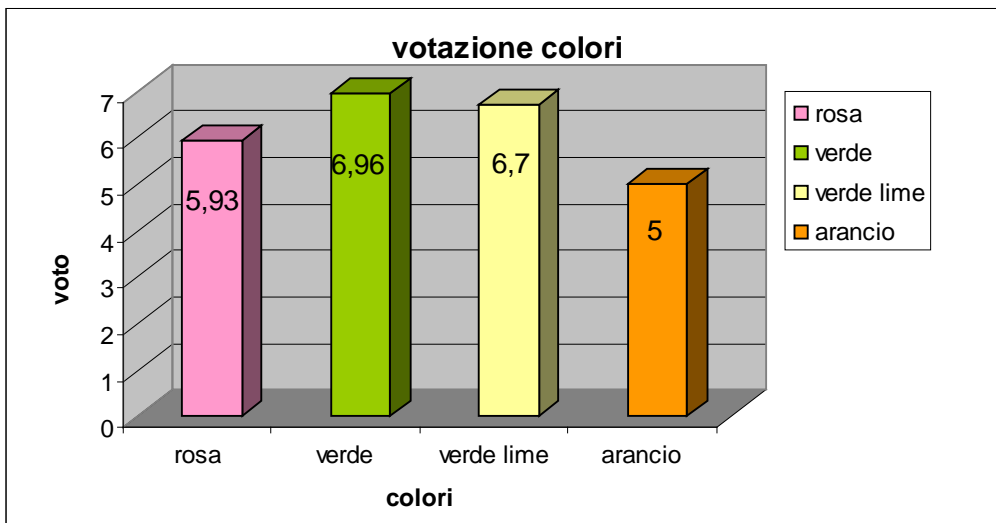


Fig.7.18. Voti medi espressi per ogni colore

Interessante è il risultato dell'indagine sui colori base e le relative sfumature (soggetti sempre alla votazione da 0 a 10), da cui si evince, per ogni tinta, la preferenza della sfumatura più satura tra le tre sfumature proposte.

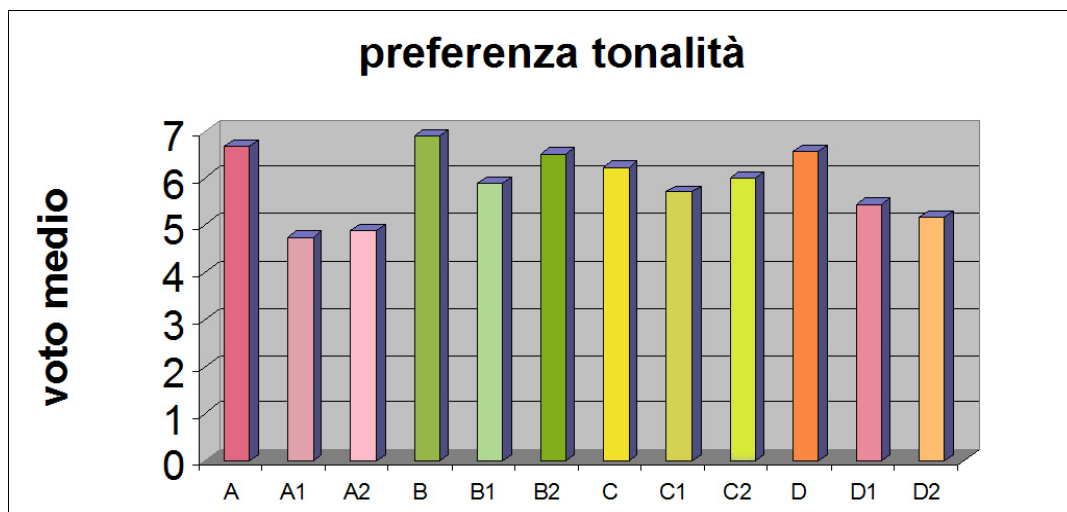


Fig.7.19. I voti dati alle sfumature preferite

Poiché il verde/giallo (verde lime, sfumatura C) applicato al sito risultava troppo giallo e quindi da modificare, con soddisfazione emerge che la sfumatura C2, un verde meno caldo e più indicato, è comunque molto apprezzato.

### Luce

Il cambiamento della CCT delle sei fluorescenti non ha dato risultati positivi, in quanto la luce più calda andava a colpire la parete rosa, tonalità abbastanza fredda, dandole una tonalità

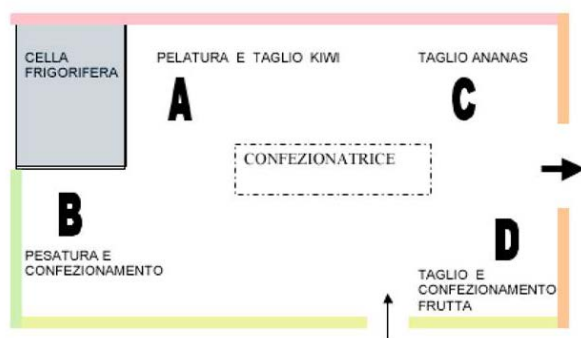
meno piacevole. Inoltre in quella zona, al posto di lavorare il kiwi, verde, durante la sperimentazione sotto questa luce è stato lavorato, per motivi ignoti, l'ananas. Il giallo di questo frutto, illuminato dalla luce più calda, risaltava ancora di più e, combinandosi coi riflessi del rosa più freddo della parete, avrebbe potuto creare difficoltà alla vista del personale. E così è stato: alcuni lavoratori si sono lamentati del fastidio agli occhi mentre tagliavano l'ananas.

#### 7.4. Discussione

L'inserimento dei quattro colori alle pareti nel sito produttivo è stato gradito sia dal personale sia dalla proprietà.

A seguito di tutte le valutazioni precedenti si realizza una nuova proposta cromatica in cui le tinte delle pareti sono schiarite e desaturate (la *nuance* passa da 0540 a 1030) mantenendo inalterata la tinta del pavimento. Come richiesto dalla Proprietà, si mantiene invariato il rivestimento attuale del plafone.

#### PROPOSTA CROMATICA 2



Qui a seguito, la simulazione con dei fotoritocchi del sito Solfarm Europe coi colori della Proposta Cromatica 2.





La differenza tra il sito prima e dopo l'introduzione dei colori della Proposta Cromatica 2.

*prima*



*dopo*



*prima*



*dopo*



### **7.5. Risultati**

L'Azienda ha recepito e condiviso il gradimento del personale dell'inserimento cromatico e ha voluto realizzare in tempi brevi un intervento cromatico.

Per motivi interni, non volendo sostituire il colore del pavimento e del palfone, ha optato per introdurre solo due colori della Proposta Cromatica 1, perché in parte già applicati alle pareti intonacate per la sperimentazione. Vengono scelti l'arancione NC S 0540- Y50R e il verde NCS S 0540- G30Y. Dopo 60 giorni da questo intervento si procede con la distribuzione del *Questionario Solfarm 3* (Allegato 3) a 18 lavoratori per valutarne il gradimento.

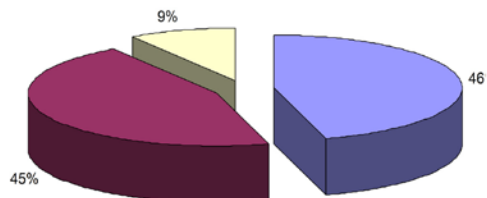
#### ***Risultati finali del test definitivo (Questionario Solfarm 3)***

I risultati sono espressi sotto forma di grafici.

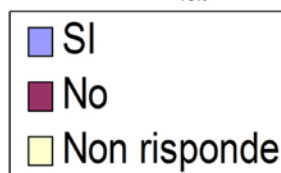
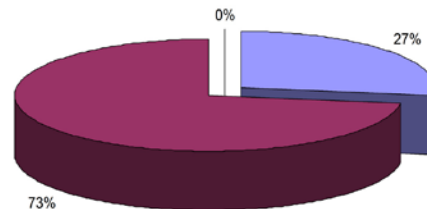


## Risultati del terzo questionario dopo l'intervento cromatico

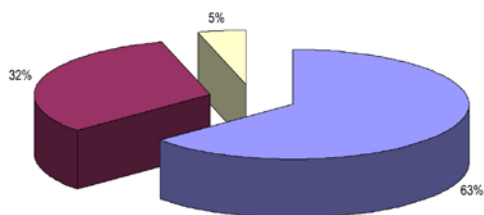
Domanda 1: dopo l'intervento cromatico il luogo di lavoro le ha dato una carica di vitalità?



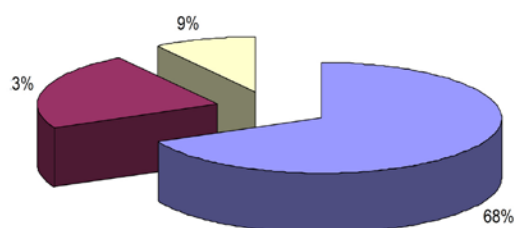
Domanda 2: dopo l'intervento cromatico il luogo di lavoro le ha dato una sensazione di calore?



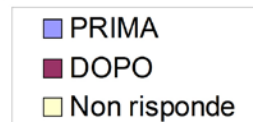
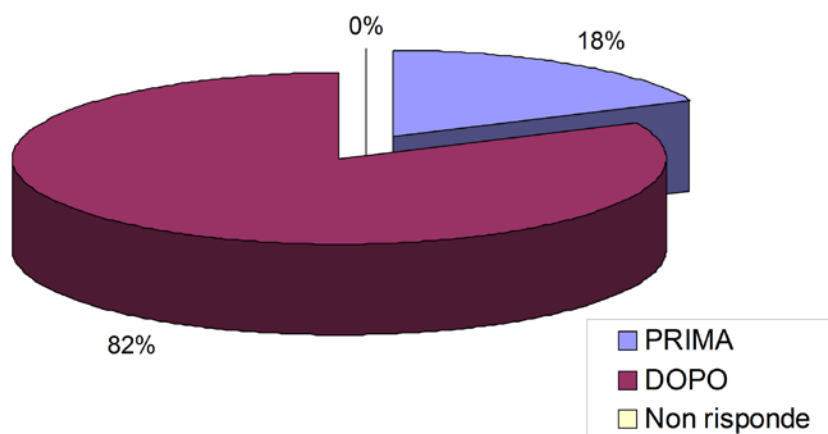
Domanda 3: dopo l'intervento cromatico il luogo di lavoro le sembra meno noioso?



Domanda 4: dopo l'intervento cromatico il luogo di lavoro le sembra più gradevole?



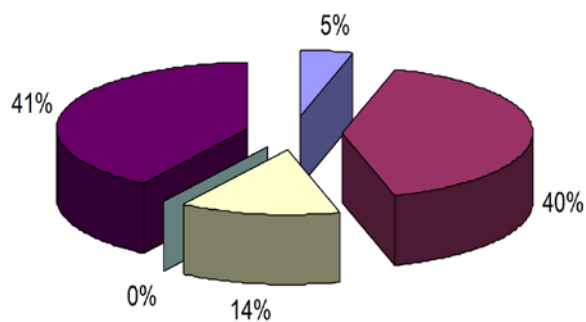
Domanda 5: giudica il luogo di lavoro migliore prima o dopo l'intervento cromatico ?



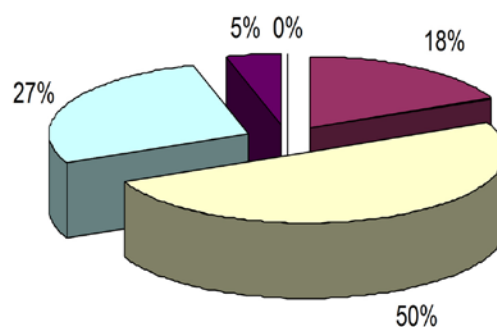


## Risultati del terzo questionario dopo l'intervento cromatico

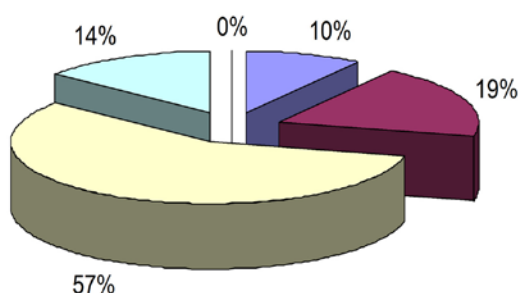
Domanda 1: come giudica il comfort ambientale dopo l'intervento cromatico?



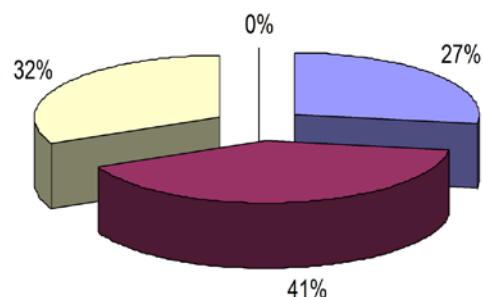
Domanda 2: come giudica la pulizia dell'ambiente di lavoro dopo l'intervento cromatico?



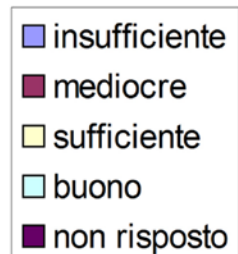
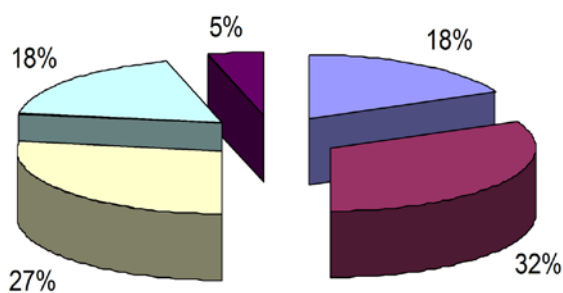
Domanda 3: come giudica l'illuminazione del luogo di lavoro dopo l'intervento cromatico?



Domanda 4: come giudica la temperatura nel luogo di lavoro dopo l'intervento cromatico?



Domanda 5: come giudica la silenziosità nel luogo di lavoro dopo l'intervento cromatico?



## **7.6. Discussione e conclusione**

L'intervento cromatico alle pareti quasi immediato subito dopo la fase di sperimentazione, e l'elevata percentuale dei lavoratori (82%) che affermano di preferire il sito modificato, dimostrano il gradimento della proposta cromatica sia da parte della Proprietà sia dei lavoratori.

Secondo il test l'inserimento delle due tinte non ha indotto variazioni sensibili nella percezione del calore, mentre ha conferito all'ambiente, secondo il 46% carica e vitalità. Per il 63% l'ambiente è risultato meno noioso e per il 68% più gradevole.

Si noti che l'abbinamento tra l'arancione e il verde applicati alle pareti e la pavimentazione rossa non è armocromico.

Nella Zona A del sito esaminato è opportuno aumentare l'illuminamento.

Due sono le possibilità :

- aumentando il numero delle luci nel sito
- sostituendo alcune luci con altre aventi le stesse caratteristiche, ma modello *reflex*, con riflettore incorporato.

Sarebbe auspicabile aumentare la resa cromatica e portarla a valori attorno a 90.

In generale, nei siti della IV Gamma, oltre le considerazioni già dette, fattore limitante per l'inserimento cromatico è il rivestimento con pannelli termoisolanti, molto diffuso per evidenti motivi energetici.

Le aziende produttrici, mentre offrono un'ampia scelta in merito alle loro caratteristiche tecniche ed elevate performances termoisolanti, sono limitate nelle offerte cromatiche.

Mentre le tonalità chiare del bianco acromatico e cromatico, da caldo a freddo, presenti sul mercato sono molte e ben si adattano per il plafone, la gamma cromatica indicata per le pareti è attualmente molto ridotta. Inoltre, questi pannelli, anche se colorati, per l'aspetto e la struttura mantengono, pur con i benefici che il colore induce, un aspetto che conferisce la sensazione non confortevole da cella frigorifera.

Una soluzione potrebbe venire da rivestimenti di ultima generazione, a norma per il settore alimentare e resistenti ai detergenti, che, dopo la stesura di un primer, aderiscono anche ai pannelli termoisolanti con una procedura di applicazione simile ad uno smalto.

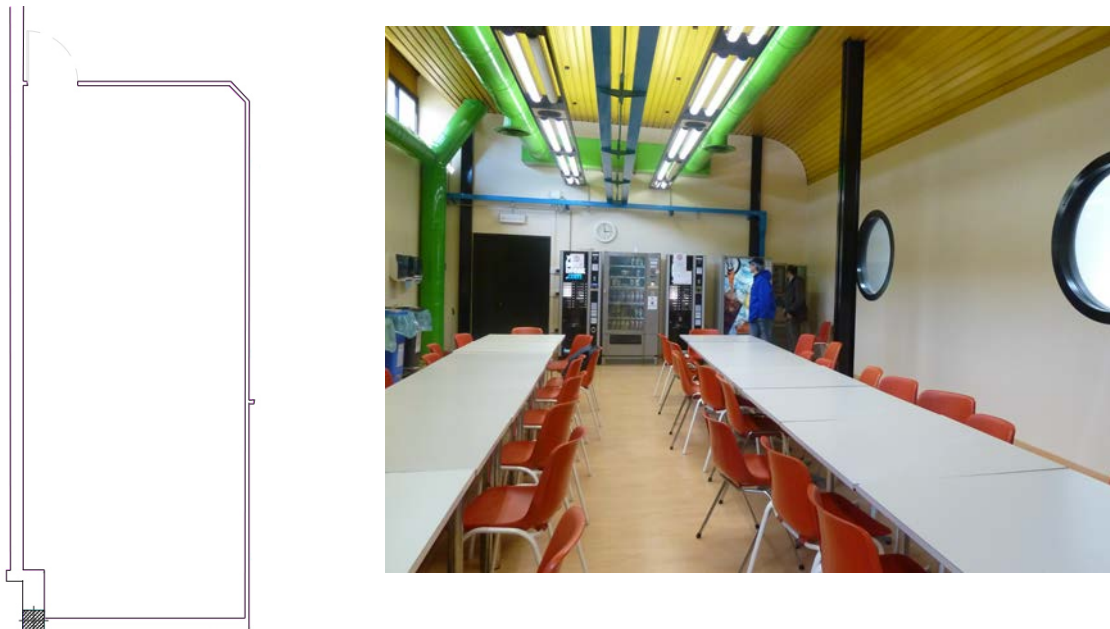
Anche la resina epossidica, molto diffusa, è una possibile alternativa. Entrambe queste soluzioni possono essere realizzate senza problemi nelle tinte desiderate, seguendo la codifica NCS.

## 8. Il Gamma: Il caso Mensa Orogel

*La sottrazione di colore come strumento per stare meglio*

### 8.1. Introduzione e obiettivi

La mensa si presenta come un locale a planimetria rettangolare, lungo e stretto, in cui i lavoratori sostano durante gli intervalli e la pausa pranzo. Al centro, due lunghe file, rispettivamente di nove e undici tavolini rettangolari (85cm x 85cm) in laminato bianco e relative sedie, alle pareti parecchi distributori automatici di bevande, snack e piatti pronti Orogel da riscaldare nei forni a microonde disposti su un'apposita scaffalatura ed un lato del locale attrezzato a cucina offrono ampie possibilità di ristoro e relax.



*Fig. 8.1. Planimetria e vista della mensa*

Una serie di finestre posizionate in alto, lungo tutta una sua lunghezza, garantiscono al locale un buon illuminamento durante le ore centrali della giornata e l'illuminazione artificiale è data da fluorescenti lineari (CCT 4.000 K;  $R_a$  80) che alimentano apparecchi di illuminazione bitubolari - neri- a sospensione posizionati in alto sulle due file di tavoli. Il locale, con pavimentazione in laminato chiaro è caratterizzato da un numero elevato di barriere architettoniche evidenziate ancor più dai loro colori (tubi per la ventilazione, travi, colonne, infissi, finestre, porte). L'elevata saturazione delle tinte e l'eccesso cromatico conferiscono al locale disordine e disturbo visivo e non inducono sensazioni di relax.

L'obiettivo dell'intervento cromatico consiste nel rendere il locale confortevole, rilassante e silenzioso, che permetta al lavoratore di staccare dal lavoro e dal sito rumoroso, per rigenerarsi e caricarsi nella mente e nel corpo.

## 8.2. Materiali e metodi

Strumenti

Colorimetro CL200A, Konica Minolta; NCS Index 1950 Original 1950 Original.

Per focalizzare lo stato di fatto si raccolgono i dati relativi ai fattori ambientali elencati nella seguente Check List.

Tab.8.1. Check List della Mensa Orogel

Fattori presenti	Stato di fatto
Formazione di polvere/ vapore	pulito
Temperatura, sensazione caldo/freddo	tutto l'anno 21 °C <T <25°C; possibile regolazione interna
Acustica/suono	54-56 dB
Rumore	leggera e continua emissione sonora (impianto di ventilazione)
Clima (secco/ umido)	condizioni ambientali nella norma, 40%< UR <45%
Segnaletica/cartellonistica necessaria	uscita emergenza, antincendio
Raccomandazioni di sicurezza/divieti	Non fumare
Luce naturale diurna	Generalmente sufficiente nella pausa pranzo e nelle ore centrali della giornata.
Luce artificiale	Fluorescenti lineari; CCT (4.000K) e R <sub>a</sub> 80
Apparecchi di illuminazione	apparecchi tubolari a sospensione
Illuminamento ai tavoli	450 lux; valore medio di 8 misurazioni (norma 200 lux)
Destinazione sito	servizi di ristorazione e caffetteria, ricreazione, sosta, relax
Fruitori: Lavoratori Stabilimento Orogel 1	75÷80 % donne 25÷20 % uomini età media 40 anni

Per capire le problematiche del locale, le preferenze e le esigenze dei fruitori si realizza un questionario che viene distribuito inserendolo direttamente nella busta paga di tutti i lavoratori dello Stabilimento Orogel 1.

## Colour Presence e Colour Distribution

### Soffitto - Colori Esistenti



Pannelli a righe



NCS S 0580-Y20R



Tubo con bocchette



NCS S 2070-G20Y



Strutture turchesi



NCS S 1565-B



Strutture nere



NCS S 9000-N



Apparecchi di illuminazioni



NCS S 9000-N

### Pavimentazione



Pavimentazione

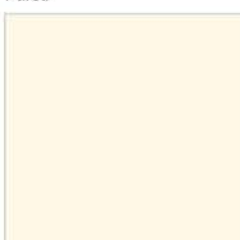


NCS S 1515-Y30R

### Pareti e dettagli - Colori Esistenti



Pareti



NCS S 0804-Y30R



Infissi finestre colore neri



NCS S 9000-N



2 grossi obli con cornice nera



NCS S 9000-N

## Arredi - Colori Esistenti



Tavolini quadrati



NCS 1005-Y10R



Sedie in plastica



NCS S 1080-Y90R



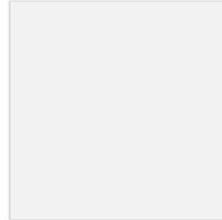
Armadietti



NCS S 1050-B



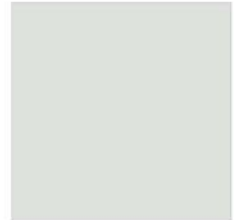
Scaffalatura bianca



NCS 0300-N



Distributore automatico

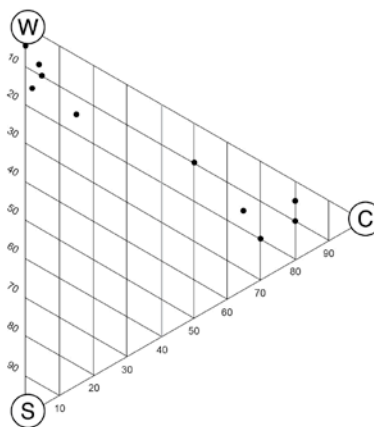
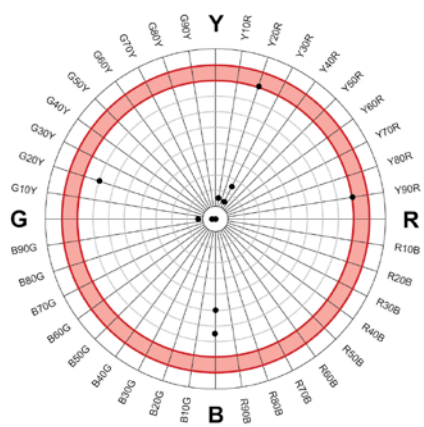


NCS S 1502-G

Gli arredi esistenti sono stati introdotti nell'arco del tempo in funzione delle esigenze contingenti e i loro colori avevano come obiettivo di rallegrare con qualche accento cromatico uno spazio destinato al relax. Questo è stato realizzato in tempi diversi e senza alcun progetto cromatico alla base con l'effetto di creazione di un ambiente cromaticamente disordinato e non rilassante. Queste tinte sono state inserite trascurando il concetto di armocromia e metacromia e creando una *Colour Pollution*.

### Posizionamento delle tinte

#### Colori Esistenti



Il loro posizionamento nel cerchio NCS conferma un policromatismo ambientale abbinato ad un'eccessiva saturazione.

### **Azioni**

Eliminare l'inquinamento cromatico togliendo i colori e riordinandoli per

- far scomparire tubi, strutture, pilastri, ostacoli, di cui è già troppo ricco il posto di lavoro
- uniformare i diversi colori dei mobili/ distributori automatici alle pareti
- scurire la parete dell'ingresso (usando il colore del distributore automatico più scuro), per uniformarla e fare apparire più corto il locale.

Ridurre la saturazione dei colori attuali non solo per aumentare l'effetto rilassante ("ogni colore è un rumore") e per diminuire la percezione acustica del rumore di fondo, ma anche per creare una vera rottura/stacco tra la zona lavorativa e quella della mensa.

L'intervento cromatico proposto è da applicare a tutto ciò che è facilmente *pitturabile* e non prevede un cambio del colore degli apparecchi di illuminazione e della pavimentazione.

### **Risultati del questionario**

Dall'elaborazione dei 176 questionari per quanto concerne il colore emergono i seguenti dati inseriti nella tabella seguente.

Tab 8.2. Valutazioni sui colori emerse dal Test

COLORE	VOTO MEDIO (da 0-10)	GRADIMENTO (%)	
		tra colori caldi/freddi e saturi/desaturi	
nero	3,95		
bianco	6,8	CALDI	FREDDI
rosso	6,09	26%	74%
verde	7,45		
blu	7,10		
arancione	6,35	SATURI	DESATURI
giallo	5,03	68%	32%

### **PROPOSTA CROMATICA**

Il *mood* individuato (*Scenario Healty Food*) per la mensa ha lo scopo di rendere l'ambiente semplice e fresco, alleggerendolo con tinte chiare e arredi sobri, facilmente reperibili e di costo contenuto, creando un ambiente naturale. Le tonalità calde infondono un caldo benessere favorendo la convivialità.

Si procede con la presentazione delle nuove tinte individuate.

### Soffitto - Nuovi Colori



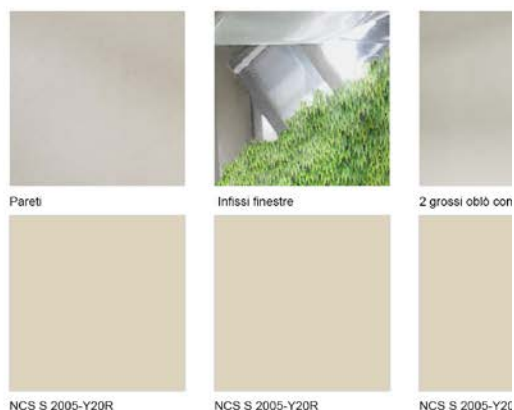
Strutture, travi, infissi alle finestre, porta vengono schiariti, desaturati e colorati con la stessa tinta per farli sparire, rendendo l'ambiente più silenzioso, ordinato e rilassante e uniformandolo. Solo gli apparecchi di illuminazione restano neri in quanto difficilmente verniciabili. Si mantiene il pavimento in laminato con effetto rovere.

Nella mensa così progettata i veri protagonisti non sono più gli accenti di colore, ma l'individuo e il cibo.

### Pavimentazione - Nuovi Colori



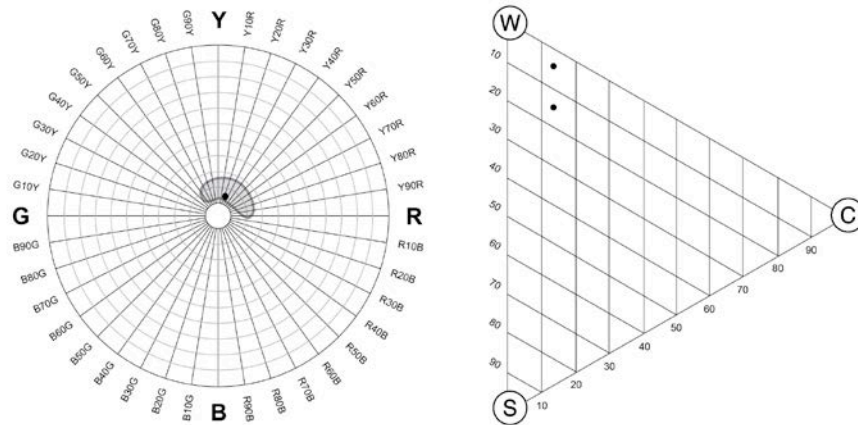
### Pareti e dettagli - Nuovi Colori





## Posizionamento delle tinte

### Nuovi Colori



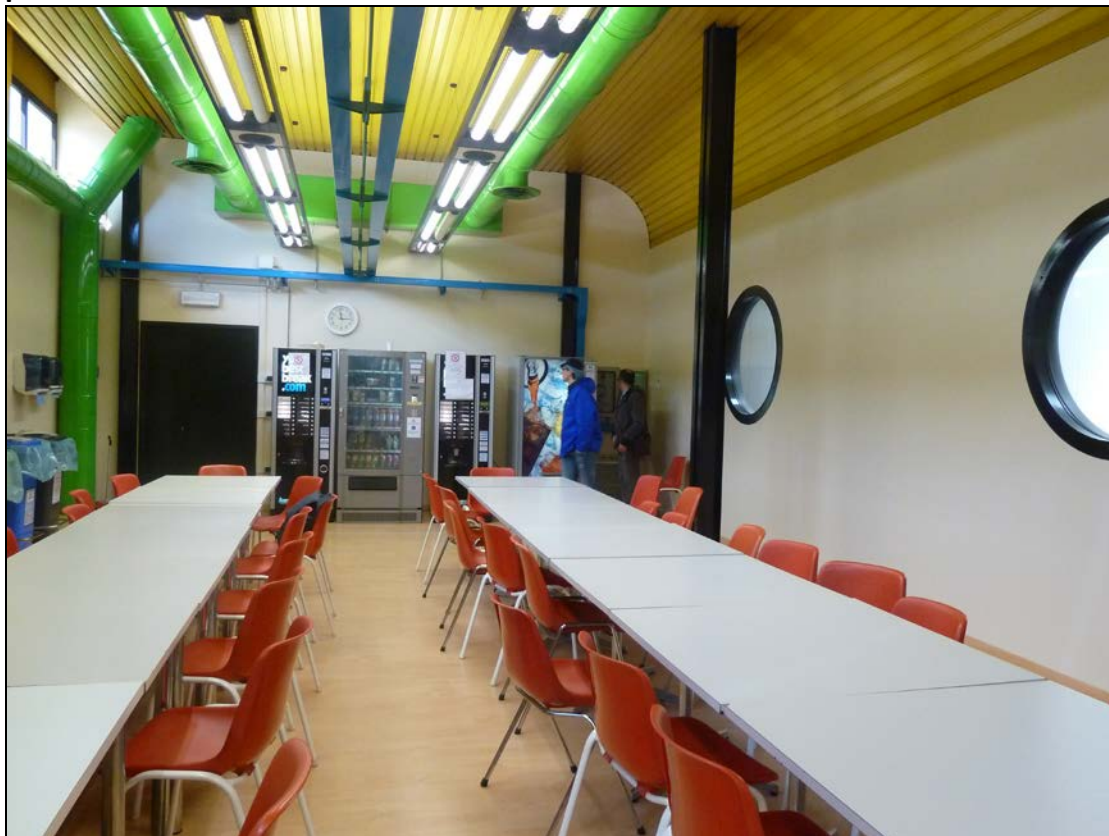
I punti di colore nel cerchio NCS confermano

- una riduzione del numero dei colori presenti
- colori di tonalità simili
- prevalentemente chiari, caldi e desaturati.

### 8.3. Risultati

Qui a seguito la mensa prima e dopo l'intervento cromatico.

**prima**



**dopo**



prima

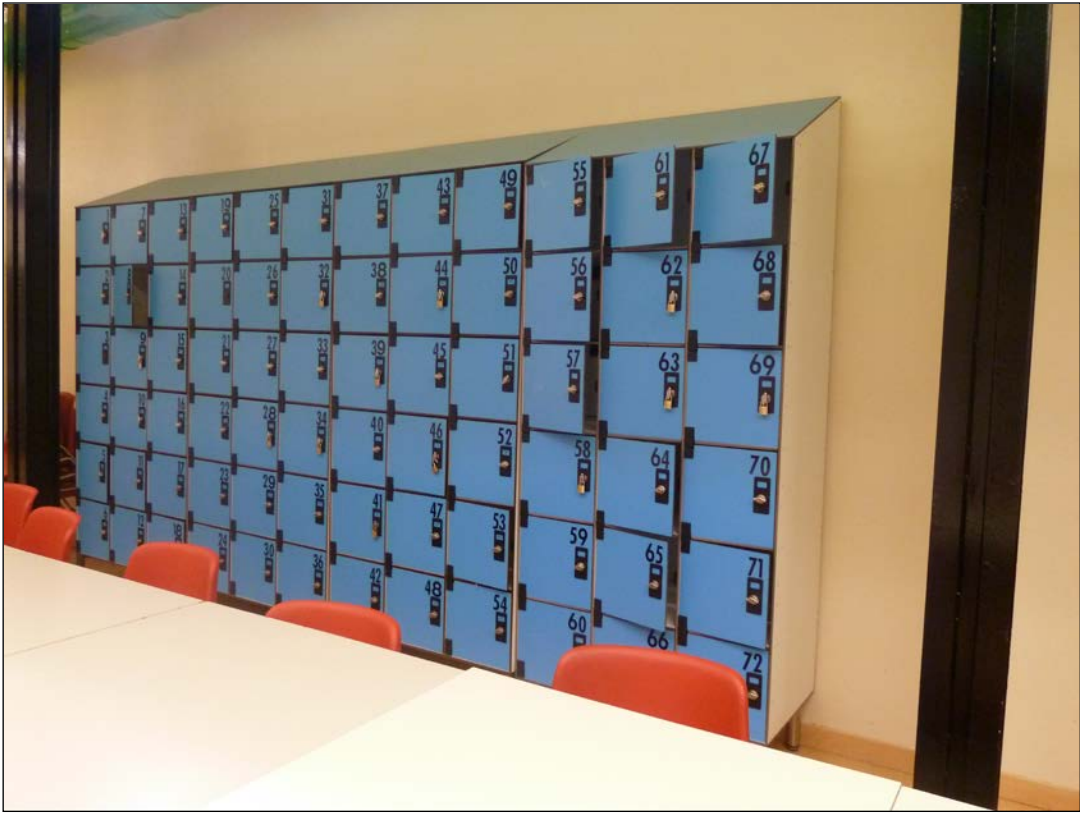


dopo





prima



dopo



Come in tutti i casi, dopo le prove a muro, saranno possibili modifiche della *nuance* o anche del piano di tinta. Le tinte proposte potranno essere modificate in funzione del riflesso alle pareti del pavimento in legno chiaro e caldo che tenderà a farle apparire più gialle, oppure ulteriormente scaldate aggiungendo del giallo o desaturate, tenendo presente che devono abbinarsi alla tinta rovere del pavimento.

### ***Apparecchi di illuminazione***

Se possibile sostituirli con altri apparecchi a sospensione, ma abbassati sui tavolini per rendere l'ambiente più caldo.

Introduzioni di piante in alto sotto le finestre

1. Effetto rilassante dato dalla presenza delle piante stesse e del loro verde
2. Il verde è particolarmente amato dai lavoratori Orogel (vedi questionari, votazione colore verde, da 0 a 10 (tabella 8.2.).

### ***8.4. Conclusione***

La progettazione cromatica della mensa Orogel è piaciuta all'Azienda.

Non si sono potuti eseguire test di gradimento per motivi interni. L' Azienda è a tutt'oggi in fase di valutazione della tempistica di realizzo. Il risultato positivo emerge in modo indiretto.

Il fatto che l'Azienda mi abbia richiesto successivamente una progettazione cromatica dell' Aula Magna dimostra il suo apprezzamento della mia proposta.

L'Aula Magna è un locale importante e di rappresentanza. E' il locale dove i Clienti vengono invitati a vedere le preparazioni e a valutare i piatti Orogel. Pertanto devono percepire da subito la loro elevata qualità.

## 9. Caso Orogel: I nastri trasportatori

*Il colore come strumento per “vedere meglio”*

***Caso dinamico: Analisi dei colore dei nastri trasportatori nel ciclo di lavorazione Spinaci Cubello Orogel***

### ***9.1. Introduzione e obiettivi***

Nei siti produttivi Orogel, come in tutti i siti di lavorazione nel settore alimentare, la preparazione del prodotto avviene attraverso un ciclo di lavorazione che prevede varie fasi successive di trasformazioni e trattamenti sino ad ottenere il prodotto finale. Il ciclo si chiude solitamente con la fase di confezionamento. Il trasferimento da una zona all'altra del prodotto da trattare avviene grazie al suo trasporto su tappeti appoggiati su nastri trasportatori. Nel Reparto Foglia dello Stabilimento Orogel 1 a Cesena, si preparano prodotti ortofrutticoli surgelati. Uno tra questi è il prodotto *Spinaci Cubello Orogel*, venduto in confezioni a busta da 750 e 1000 g, in cui gli spinaci si presentano in piccole e pratiche porzioni a cubetto di 60 g.

Il nastro trasportatore rappresenta il mezzo di trasporto dello spinacio durante tutto il suo ciclo di lavorazione. Il controllo della presenza di foglie difettose e di corpi estranei, quindi della qualità del prodotto finale, avviene per mezzo di cernitrici laser che fungono da filtro selettivo. E' previsto anche un controllo da parte di personale adeguatamente formato lungo tutto il ciclo di lavorazione per il mantenimento dell'igiene, lo smaltimento degli scarti e che interviene, se necessario, a garanzia del corretto funzionamento dei macchinari, delle cernitrici ottiche e dell'avanzamento regolare del prodotto su nastro. Il controllo finale si realizza con una selezione manuale nella zona di cernita, dopo il cuocitore. Il lavoratore addetto a questa selezione deve controllare con la vista lo spinacio scottato, mentre scorre davanti ai suoi occhi su un nastro modulare aperto. Il suo compito è quello di individuare e selezionare manualmente le foglie difettose e non conformi e, più raramente, i corpi estranei sfuggiti alle cernitrici.

*“Come ridurre i disturbi visivi del selezionatore nella zona della cernita manuale intervenendo sul colore dei nastri trasportatori? E' possibile dare maggiore comfort trovando una migliore soluzione cromatica del nastro trasportatore in tutto il ciclo di lavorazione del prodotto Spinaci Cubello Orogel?”*

Tale domanda mi è stata rivolta in modo diretto dal direttore Qualità e Innovazione Prodotto Orogel durante il nostro primo incontro.

*Oggetti e obiettivi* della mia ricerca erano pertanto definiti: analizzare il contesto del ciclo di lavorazione del *Cubello*, in particolare della zona cernita manuale, focalizzarne le problematiche per poter infine individuare i colori dei nastri più idonei che permettano al lavoratore di eseguire un' efficace selezione senza affaticarne la vista, contribuendo al miglioramento del suo comfort visivo e del suo benessere generale. Poiché la visibilità di un oggetto è associata al suo contrasto rispetto allo sfondo, oggetti del mio studio sono state le tinte del prodotto e dello sfondo, valutando anche quelle al contorno ed ambientali.

## 9.2. Materiali e metodi

La situazione attuale nel Reparto Foglia.

Per l'analisi approfondita del contesto in cui avviene la lavorazione del *Cubello* sono stati esaminati i fattori ambientali, l'illuminazione e le condizioni microclimatiche del Reparto Foglia, riassunti nella seguente *Check List*.

Tab.9.1. Check List del Reparto Foglia

<b>Fattori presenti</b>	<b>Stato di fatto</b>
Formazione di polvere/ vapore	Pulito
Temperatura, sensazione caldo/freddo	Tutto l'anno $21\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 26\text{ }^{\circ}\text{C}$
Acustica/suono	87-90 dB (A)
Clima (secco/ umido)	Condizioni ambientali nella norma $38\% < UR < 40\%$
Segnaletica/cartellonistica necessaria	Uscita emergenza, antincendio
Raccomandazioni di sicurezza/divieti	Non fumare
Luce naturale diurna	Presente grazie a lucernari, insufficiente per compiti visivi alle postazioni di lavori e ai nastri trasportatori
Luce artificiale	Fluorescenti lineari Philips Master TL-D 58 W 840
Apparecchi di illuminazione	Plafoniere bitubolari di tipo industriale
Illuminamento alle postazioni lavoro e ai nastri	Al di sopra della norma; $\bar{E}_v > 300\text{ lux}$
Destinazione sito	Ciclo di preparazione vegetali surgelati; ciclo completo di lavorazione <i>Spinaci Cubello Orogel</i>
Lavoratori	85% donne; 15% uomini, età media 40 anni

### Ciclo di preparazione del prodotto Spinaci Cubello Orogel

La preparazione di questo surgelato avviene nel Reparto Foglia nel vasto Stabilimento Orogel 1 a Cesena, su tre linee che lavorano in parallelo, 24 ore al giorno.

In questo sito le foglie di spinacio fresco, uniformi e di aspetto “pulito”, vengono scaricate direttamente dai camion, da qui caricate dal personale all’interno dei bunker di alimentazione, utilizzando un caricatore *a ragno* su pneumatico. Il prodotto, su nastri trasportatori, attraversa un dissabbiatore a tamburo rotante per eliminare terra, sabbia e sassi. Le foglie arrivano quindi, sempre su nastro, all’aeroseparatore per l’eliminazione di corpi estranei (rami, insetti). Segue un controllo con la cernitrice laser, che ha il compito di individuare corpi estranei rimasti e foglie difettose. La tappa successiva è il lavaggio in acqua corrente attraverso un gruppo di lavatrici. Con un nastro trasportatore arrivano quindi al cuocitore dove subiscono una scottatura per 35 secondi a 95 °C.

Segue un raffreddamento con acqua gelata nella vasca di equalizzazione e, successivamente, durante il suo passaggio su un tappeto modulare aperto avviene la selezione manuale. Questo tappeto consente lo sgocciolamento delle foglie cotte e bagnate e una prima eliminazione d’acqua. E’ questa l’area di cernita manuale. Lo spinacio arriva quindi alla zona di spremitura in cui uno spremitore elimina l’acqua in eccesso. La macchina cubettatrice taglia poi le foglie e le riunisce in cubetti che avanzano nel tunnel di surgelazione ad una temperatura di – 40°C. Termina qui la fase di preparazione. Segue poi quella di pesatura, confezionamento e di stoccaggio.

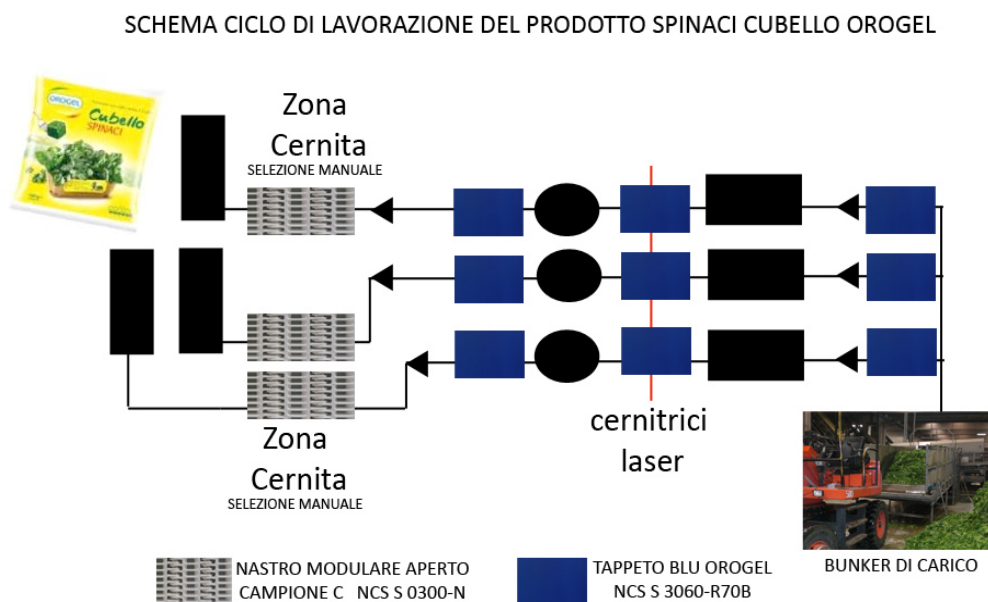


Fig.9.1. Il ciclo di lavorazione del prodotto Spinaci Cubello Orogel prevede tre linee di lavorazione in parallelo

In figura 9.1. lo schema del ciclo di lavorazione del prodotto, il posizionamento delle cernitrici e la tipologia e colore del nastro usato nelle diverse fasi.



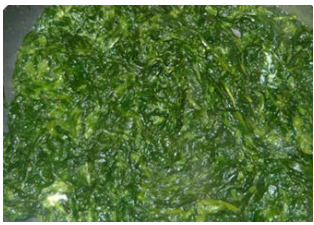





La mia ricerca sui colori si è concentrata nelle seguenti tre zone

- ZONA 1: dal bunker di alimentazione sino al lavaggio
- ZONA 2: dopo la lavatrice sino al cuocitore
- ZONA 3: la zona cernita, prima della spremitura

Nella tabella seguente le caratteristiche e lo stato del prodotto lavorato, dei tappeti e delle condizioni al contorno nelle tre zone.

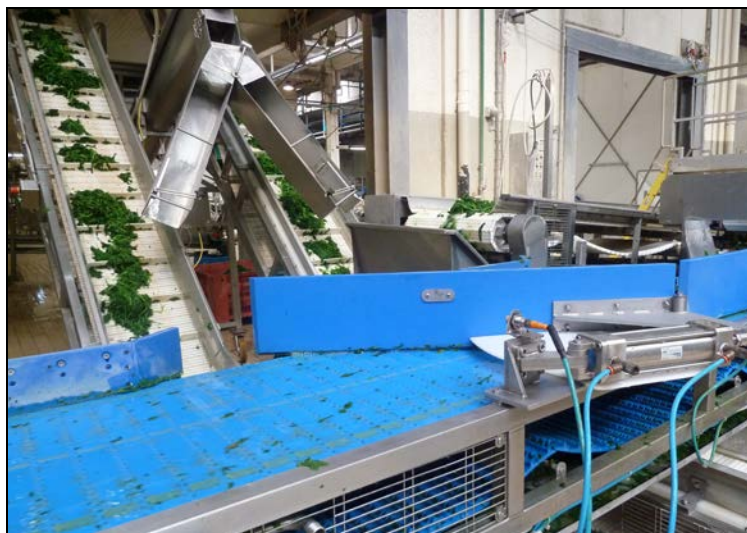
Tab. 9.2. Dettagli delle tre zone indagate

	ZONA 1 bunker di alimentazione - lavaggio	ZONA 2 lavatrice- cuocitore	ZONA 3 zona cernita con selezione manuale
<b>SPINACIO TRASPORTATO</b>			
stato	fresco/crudo	lavato/bagnato	cotto
aspetto			
colore percepito notazione NCS	verde NCS S 3050- G30Y	verde NCS S 3050- G30Y	verde scuro NCS S 5040 -G10Y
<b>NASTRO IN USO</b>			
aspetto e superficie			
nome dato al campione del nastro durante le successive prove sperimentali	Bluorogel	Bluorogel	Campione C
tipologia nastro	chiuso, <i>flat top</i>	chiuso, <i>flat top</i>	modulare aperto
colore percepito	blu saturo	blu saturo	bianco
notazione NCS	NCS S 3060-R70B	NCS S 3060-R70B	NCS S 3060-R70B
materiale	ETAM	ETAM	PP (Polipropilene)
larghezza	700 mm	700 mm	1045 mm
numero dei lavoratori al nastro	2	2	4
posizione dei lavoratori al nastro	allineati	allineati	2 di fianco e 2 di fronte
illuminamento	500 lux	500 lux	elevato >500 lux
velocità di avanzamento	36 m/min	12 m/min	12 m/min
cernita manuale	NO	NO	SI
cernitrice ottica (a valle della cernita manuale)	-	-	NO

Il nastro trasportatore rappresenta il piano di lavoro del lavoratore.  
Lo studio del suo benessere visivo passa pertanto attraverso l'analisi del colore e tipologia del nastro e del suo illuminamento.



*Fig. 9.2. I tappeti usati per la preparazione del Cubello. A destra il tappeto flat top per lo spinacio fresco e lavato, al centro e a sinistra il modulare aperto per lo spinacio cotto*



*Fig.9.3. Una panoramica del ciclo di lavorazione in esame*

## Sorgenti luminose ed illuminamento

### Sorgenti luminose

La luce naturale dei lucernari dello Stabilimento Orogel 1 non è sufficiente e la zona di lavoro viene illuminata mediante fluorescenti lineari Philips Master TL-D 58 W 840, CCT 4.000 K,  $R_a=80$  in plafoniere bitubolari di tipo industriale.

Si tratta di luci neutre, molto usate, con una resa cromatica migliorabile.

### Illuminamento

Strumento: colorimetro CL200A, Konica Minolta

Per misurazioni precise dell'illuminamento su entrambi i nastri esaminati, il nastro flat top blu per lo spinacio fresco e lavato, larghezza 700 mm, e il modulare aperto bianco per lo spinacio cotto, larghezza 1040 mm, si è operato in modo analogo alla procedura standard adottata per le misurazioni di illuminamento nelle gallerie, dove il valore dell'illuminamento  $E_v$  è la media di 9 rilievi in 9 punti in un'area di 1 mq, suddivisa opportunamente in un reticolo con 9 punti d'intersezione delle diagonali e dei vertici. Si è proceduto secondo questo schema nelle tre zone rilevando i valori dell'illuminamento  $E_v$  (lux) e della CCT(K).

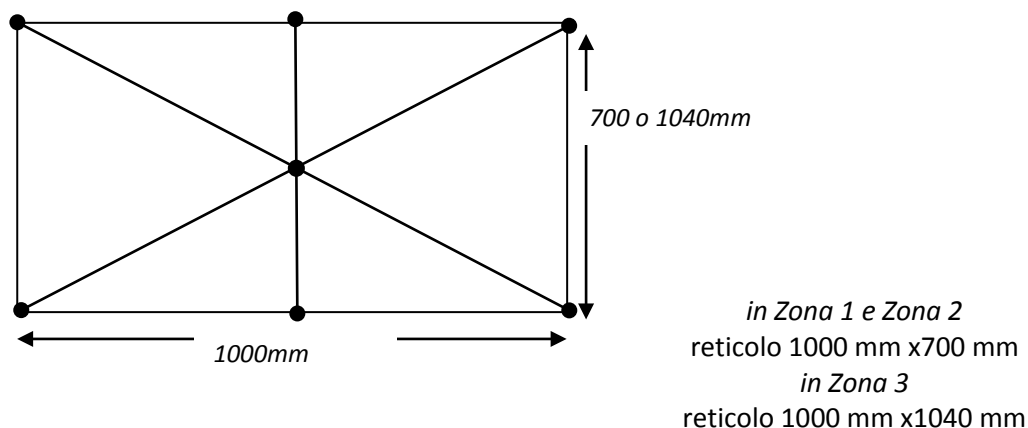


Fig.9.4. Reticolo di riferimento con 9 punti di rilievo di  $E_v$  e CCT.

Qui a seguito i valore medi ottenuti.

Tab.9.3. Valori medi di illuminamento e di temperatura di colore nelle singole zone

<b>Zona 1</b>	spinacio fresco	nastro chiuso, Bluorogel	$E_v = 595,64$ lux (norma 300 lux) CCT= 3.988 K
<b>Zona 2</b>	spinacio lavato	nastro chiuso, Bluorogel	$E_v = 553,21$ lux (norma 300 lux) CCT= 4.022 K
<b>Zona 3</b>	spinacio cotto	nastro modulare aperto,	$E_v = 940$ lux (norma 500 lux)
<b>Zona Cernita</b>		Campione C	CCT= 4.051 K

### **Misurazioni cromatiche**

Le misure colorimetriche dei nastri nelle tre zone sono state effettuate utilizzando lo strumento NCS Standard 1950 Index 1950 Original definendo le loro notazioni NCS riportate nella tabella 9.3.

### **Colour Presence e Colour Distribution**

Poiché lo Stabilimento Orogel 1 è un vasto capannone, le pareti e il soffitto molto alti e molto lontani rispetto all'occhio del lavoratore il cui compito si limita al controllo del tappeto che scorre davanti a lui, non sono stati presi in considerazione né il colore del soffitto né quello delle pareti, i cui effetti sulla sua visione sono trascurabili.

Da valutare sono i colori che rientrano nel suo campo visivo. Si esamina quindi anche il colore del pavimento e dell'uniforme indossata nella parte superiore del corpo dal lavoratore di fronte, in quanto elemento colorato visibile nel momento in cui il selezionatore alza lo sguardo dalla postazione di lavoro così come anche il colore dei guanti costantemente sotto ai suoi occhi.

Il colore della giacca è da prendere in esame per due motivi:

- se indossate da un collega di fianco possono incidere sulla visione periferica che è determinante ai fini dello stress visivo
- se indossate dal collega di fronte, come avviene nella Zona Cernita dove l'attenzione deve essere massima, il loro colore molto saturo, accentuato dall'effetto gloss del tessuto, disturba fortemente l'occhio di chi lo osserva aumentando il fenomeno della postimmagine.



*Fig. 9.5. Nel Reparto Foglia il lavoratore indossa, sopra ai propri abiti, un camice e un grembiule bianchi ed una giacca blu. Alle mani ha sempre dei guanti blu*

Nella tabella seguente sono elencati solo gli elementi colorati che influiscono sulla prestazione visiva dell'occhio del personale (visione foveale ed extrafoveale). A fianco le rispettive notazioni NCS .

Tab.9.4. Colour Presence e Colour Distribution

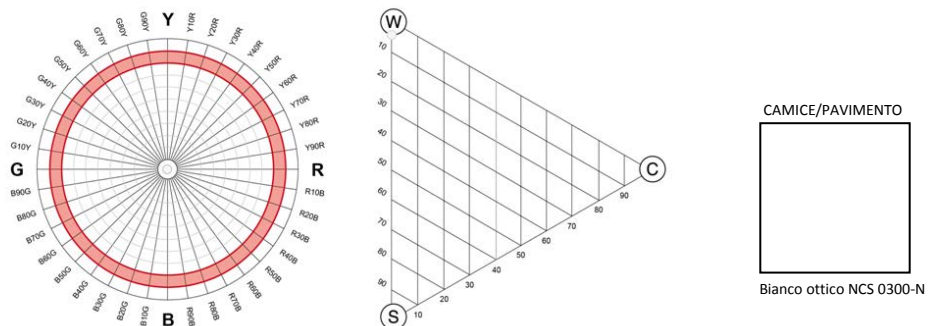
elementi colorati	materiali	colore percepito	notazione NCS
pavimento	piastrella gres porcellanato, lucida	bianco	NCS S 0300-N
strutture, banchi di lavoro macchinari	acciaio inox acciaio inox, alluminio		
tappeto chiuso, <i>Bluorogel</i>	ETAM	blu	NCS S 3060-R70B
nastro modulare aperto, <i>Campione C</i>	Polipropilene	bianco	NCS S 0300-N
giacca , piumone	Poliestere	blu saturo	NCS S 3060 R80B
camice e grembiule sotto la giacca	cotone	bianco assoluto	NCS S - 0300 N
guanti monouso	nitrile	blu	NCS S 2050 R80B
spinacio fresco/lavato		verde	NCS S 3050- G30Y
spinacio cotto		verde scuro	NCS S 5040 -G10Y



Fig.9.6. Nella zona della lavorazione del Cubello Orogel il pavimento è bianco (gres porcellanato)

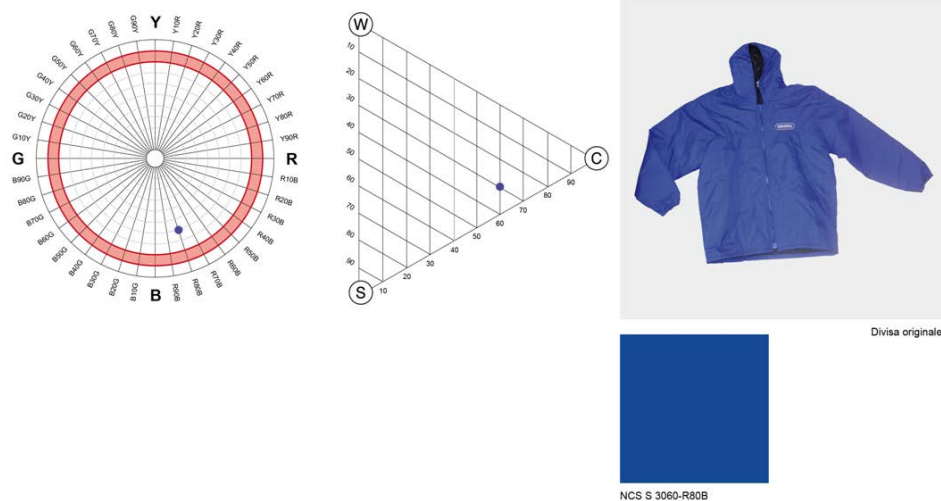
## Colori esistenti e loro posizionamento

- pavimento e camice

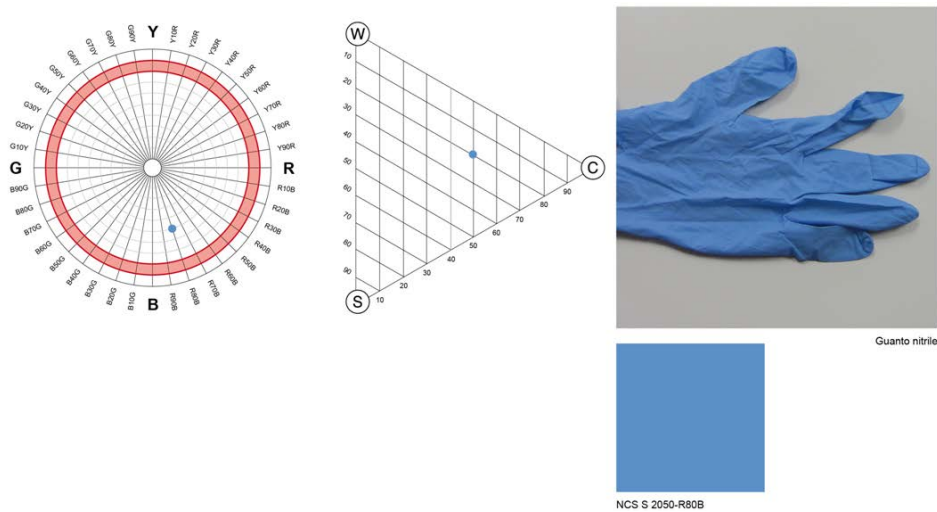


Le uniformi, i guanti monouso, i copricapo ed i copriscarpe sono blu (da requisiti BRC/IFS)

- divisa



- guanti



## ***Le problematiche della II Gamma***

### ***I corpi estranei***

La selezione manuale in Orogel, che avviene dopo controlli con le cernitrici a laser, ha come obiettivo principale quello di individuare e allontanare foglie in cattivo stato, deteriorate (gialle o marce) o non conformi.

Trattandosi di una lavorazione sul prodotto fresco le problematiche inerenti ai corpi estranei sono quelle di tutte le II e IV Gamme che lavorano il vegetale fresco che proviene direttamente dal campo di raccolta.

La categoria di corpi estranei più diffusa in questa tipologia di siti produttivi è la *categoria insetti*, come coleotteri di dimensioni di 1-2 cm circa. Si tratta solitamente di insetti neri o scuri.

Altre categorie di corpi estranei, meno diffuse, sono la categoria di materiale organico, come pezzi di ramoscelli, e, raramente, plastica e metalli. Tra il materiale plastico possono essere individuati pezzi di guanti blu dovuti alla rottura dei guanti indossati dagli stessi operatori. Si tratta di eventi poco frequenti: i corpi estranei più diffusi nelle II e IV Gamme restano gli insetti tipo coleottero, anche perché i coleotteri, con le loro 400.000 diverse specie, rappresentano il gruppo più numeroso di tutto il regno animale.

Di seguito le quattro categorie.



Tab. 9.5. I corpi estranei più diffusi

CATEGORIA	TIPOLOGIA	COLORI	ESEMPI
<i>insetti</i>	coleottero, mosca, ape, larva	marrone/nero scuro	
<i>materiale vegetale estraneo</i>	rametto, buccia	marrone/nero scuro	
<i>plastica</i>	pezzo di plastica, gomma, plexiglas	blu	
<i>metallo</i>	vite, filo di metallo	grigio/grigio scuro	

### **Le problematiche della Zona Cernita Orogel**

sono legate ai seguenti fattori

*Turni di lavoro:* I lavoratori possono effettuare attività di cernita anche per un turno di 8 ore, con pausa ogni 4 ore e cambio della postazione di cernita ogni 2 ore

*Posizione del lavoratore:* stancante, sempre in piedi

*Tipologia di lavoro:* ripetitivo e noioso, con richiesta di una notevole concentrazione visiva per la selezione manuale

*Proprietà del prodotto da selezionare:*

*il suo stato:* lo spinacio è cotto e pertanto ammassato, le foglie sono una sopra all'altra, difficile valutarne la conformità, individuare le foglie ed i corpi estranei tra e sotto di esse



*il suo colore:* dopo la scottatura la sua scurezza aumenta del 20% ed il suo colore si avvicina ancor più alle foglie deteriorate scure e ai corpi estranei spesso scuri

*Proprietà intrinseche del nastro trasportatore*

1. *superficie modulare:* contiene più alte frequenze di una superficie liscia risultando quindi più faticosa per la vista
2. *stato:* fissare un oggetto su un nastro in movimento risulta più faticoso
3. *colore:* molto contrasto tra il bianco del nastro modulare aperto e la foglia scura dello spinacio



*Fig.9.7. Selezione manuale nella Zona Cernita*

### ***Analisi dei colori dei tappeti***

La visibilità di due oggetti colorati e giustapposti dipende dal loro contrasto cromatico: agendo su uno dei colori è possibile modificarla. Mentre non è possibile intervenire sul colore della foglia di spinacio e del corpo estraneo è invece possibile modificare il colore del loro sfondo variando la tinta del nastro che diventa uno strumento per *vedere meglio*.

Su questo principio si basa lo studio in esame che ha come obiettivo quello di individuare i colori più idonei di nastri attualmente sul mercato per il ciclo di lavorazione del *Cubello*, per il trasporto della foglia fresca, bagnata e cotta.

Per la sua importanza questa analisi è stata condotta avvalendosi di una strumentazione di ultima generazione per le misurazioni colorimetriche allo scopo di ottenere risultati precisi e affidabili.

### ***Procedura***

#### ***Raccolta dei campioni di nastri trasportatori***

Per potere eseguire misurazioni e confronti colorimetrici significativi è stata organizzata una raccolta del maggior numero possibile di campioni di tappeti di differenti tinte attualmente

sul mercato del settore agroalimentare e con certificazione FDA (indispensabile quando l'alimento è a contatto col nastro).

In tale settore il colore più diffuso, anche perché un requisito BRC/IFS, è il blu, seguito dal bianco.



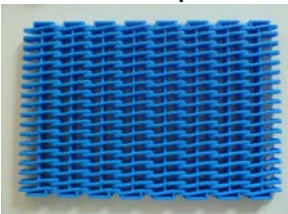
Per il trasporto dei vegetali è più richiesto il materiale plastico dell'acciaio inox per i seguenti vantaggi: un minore costo, una maggiore facilità di pulizia, e, in caso di rottura, non è necessaria la sostituzione di tutto il nastro (Calzati, 2011).



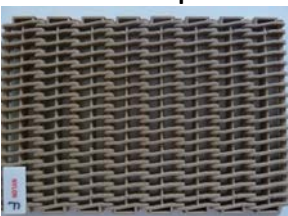


Poiché il numero dei campioni di nastri *flat top*, cioè di tappeti chiusi con superficie liscia, era insufficiente per effettuare confronti cromatici significativi, si è provveduto ad un'ulteriore raccolta di campioni con superficie liscia di differenti tinte e di diverso materiale, come campioni in PVC; CDM, e cartoncino di diversa consistenza. Qui a seguito due tabelle dei campioni raccolti.




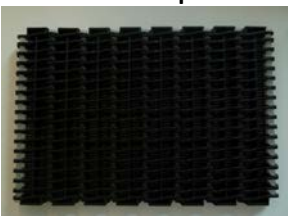


Tab.9.6. I campioni di tutti i nastri raccolti utilizzati nella sperimentazione con il 2D Color Analyzer CA 2000, Konica Minolta

### CAMPIONI DI TAPPETI CHIUSI E MODULARI






attualmente sul mercato e in uso nell'industria alimentare

	NOME CAMPIONE	TIPO DESCRIZIONE	Colore percepito Notazione NCS	MATERIALE/DETTAGLI	FORNITORE
1	<b>Bluorogelfresco</b> <b>Chiuso (superf. liscia)</b> 	Nastro orizzontale Niagara tipo FLEXAM (Scheda tecnica)	blu NCS S 3060-R70B	ETAM <i>usato in Orogel spinacio fresco/lavato</i>	AMMERAAL BELTECH
2	<b>Campione A</b> <b>modulare chiuso</b> 	Series 900 FT PP Grey 6X8	grigio medio NCS S 5005-B20G	Polipropilene	INTRALOX
3	<b>Campione B</b> <b>modulare aperto</b> 	Series 900 Nub Top FG PP Blue 9x7	blu NCS S 2060-R90B	Polipropilene	INTRALOX
4	<b>Campione C</b>	Series 400	bianco	Polipropilene	INTRALOX

	<b>modulare aperto</b> 	OH PP White 6x8	NCS S 0300-N	<i>usato in Orogel spinacio cotto</i>	
5	<b>Campione D modulare chiuso</b> 	Series 1100 FT Acetal White 6X8	bianco NCS S 0502-B	Acetale	INTRALOX
6	<b>Campione E modulare aperto</b> 	Series 900 RR PE Natural 6X8	Bianco trasparente NCS S 0502-B	Polietilene	INTRALOX
7	<b>Campione F modulare aperto</b> 	Series 900 FG Nylon FDA Golden Brown 6X8	Grigio caldo/beige NCS S 3010 Y 30R	Nylon	INTRALOX
8	<b>Campione G modulare aperto</b> 	Series 1100 FG PE Natural 6X8	Bianco trasparente NCS S 0502-B	Polietilene	INTRALOX
9	<b>Campione H modulare aperto</b> 	Series 900 FG Acetal Blue 6X8	blu NCS S 3060-R80B	Acetale	INTRALOX
10	<b>Campione I</b>	Series 1000	grigio	Acetale	INTRALOX

	<b>modulare chiuso</b> 	FT Acetal Grey 10x8.5	NCS S 6005-B20G		
11	<b>Campione L modulare chiuso</b> 	Series 800 FT PP Grey Detectable 6X8	grigio NCS S 6005-B20G	Polipropilene <i>eliminato perché stesso colore campione I</i>	INTRALOX
12	<b>Campione M modulare chiuso</b> 	Series 900 FT PP White 6x8	bianco NCS S 0300-N	Polipropilene	INTRALOX
13	<b>Campione N modulare aperto</b> 	Series 900 MT PP Black 6x8	nero NCS S 7005 -B20G	Polipropilene	INTRALOX
14	<b>Campione O modulare aperto</b> 	Poliuretano PU- CM- TTB blu 769 mm	Blu saturo NCS S 3050-R80B	Poliuretano <i>Orogel valuta di sperimentarlo per lo spinacio cotto sostituendolo al campione C</i>	UNICHAINS
15	<b>Campione P modulare aperto</b> 	Series 800 RR Tan PP 18X8.5	Grigio caldo/beige NCS S 1505 -Y30R	Polipropilene	INTRALOX

Tab 9.7. I campioni di simulatori nastri "flat top" utilizzati nella sperimentazione con il 2D Color Analyzer CA 2000, Konica Minolta

<b>CAMPIONI DI DIVERSI MATERIALI PER SIMULARE TAPPETI CHIUSI</b>				
	<b>NOME CAMPIONE</b>	<b>TIPO DESCRIZIONE</b>	<b>Colore percepito Notazione NCS</b>	<b>MATERIALE/DETTAGLI</b>
<b>1</b>	<b>Campione 1*</b> 	Cartoncino sostenuto	grigio chiaro NCS S 2005-R80B	PVC, CDM
<b>2</b>	<b>Campione 2</b> 	Cartoncino	grigio chiaro caldo NCS S 3502- Y	Cartoncino
<b>3</b>	<b>Campione 3*</b> 	Cartoncino sostenuto opaco	grigio chiaro NCS S 2005- R80B	CDM <i>eliminato perché dello stesso colore campione 1</i>
<b>4</b>	<b>Campione 4</b> 	Copertina quaderno A4	blu saturo NCS S 1565-B	Cartoncino lucido
<b>5</b>	<b>Campione 5</b> 	Cartoncino	grigio chiaro caldo NCS S 3502- Y	Cartoncino <i>eliminato perché dello stesso colore del campione 2</i>

6	<p style="text-align: center;"><b>Campione 6</b></p> 	Cartoncino sostenuto	grigio caldo NCS S 3010-Y40R	Fronte superficie liscia/retro a costine-lamellari
7	<p style="text-align: center;"><b>Campione 7</b></p> 	Busta A3 per spedizioni	grigio caldo chiaro NCS S 1010- Y30R	Carta pesante

### ***Sperimentazione e strumentazione***

La sperimentazione è stata condotta su tutti i campioni dei nastri raccolti descritti nelle due tabelle 9.6. e 9.7. Tutti i campioni erano nuovi e di dimensione opportuna (da 22cm x 18cm a 55cm x 35cm).

Lo studio comprendeva tre fasi.

- FASE 1: misure colorimetriche quantitative per il calcolo dei corrispondenti  $\Delta E$  e successiva elaborazione dei dati raccolti e dei corrispondenti grafici
- FASE 2: valutazione soggettiva di tutti i campioni con test percettivi opportunamente realizzati e successiva elaborazione dei risultati in grafici
- FASE 3: confronto tra i grafici ottenuti nelle due fasi precedenti per le valutazioni finali e conclusioni

### ***Fase 1***

#### ***Strumentazione utilizzata***

Colorimetro 2D Color Analyzer CA- 2000, Konica Minolta  
Cabina Luce Verivide, Konica Minolta

#### ***Allestimento della postazione sperimentale presso la Sede di Konica Minolta, Milano***

Per mantenere le condizioni di illuminamento, resa cromatica e temperatura di colore più simili a quelle in Orogel, si decide di utilizzare nella cabina luce l'illuminante standard TL 84. Anche il fondo della cabina, grigio chiaro acromatico, finitura opaca, codifica NCS S 3000-N, non viene coperto né alterato, in quanto simula il colore della struttura di acciaio inox sotto ai nastri.





Fig. 9.8. Il 2D Color Analyzer CA 2000, la cabina luce VeriVide ed alcuni campioni pronti per la misurazione

### **Preparazione dei campioni**

Per la sperimentazione sono stati preparati i seguenti elementi

- foglie di spinacio fresche, crude e asciutte
- foglie di spinacio fresche crude, lavate e bagnate
- foglie di spinacio cotto
- corpo di gomma nera per simulare un corpo estraneo/ insetto/mosca (figura 9.9.).

Sia le foglie di spinacio cotte sia il corpo di gomma nera hanno subito in precedenza un trattamento termico simile alla scottatura nel cuocitore Orogel (35-40 secondi a 95°C).

Nella sperimentazione questo corpo di gomma nera, lungo 1 cm, ha lo scopo di simulare un corpo estraneo/insetto/mosca che va individuato e allontanato durante la cernita. Per questo motivo è stato nominato “mosca” in tutte le valutazioni e grafici successivi.



Fig.9.9. Il corpo estraneo nero detto “mosca”

### **Misurazioni**

Nella cabina luce l’area selezionata per le misure è costituita da un campione di tappeto, posizionato sul fondo su cui vengono sistemati la “mosca” e rispettivamente una foglia spinacio fresco, quindi lavato e infine cotto.

Ad ogni prova con lo spinacio fresco, la foglia viene sostituita, a garanzia del mantenimento dell’integrità ed uniformità di struttura e colore.

L'obiettivo è quello di simulare a tutti gli effetti le condizioni lavorative di luce ed i cromatismi percepiti dal lavoratore nel sito Orogel, specie nella fase di grande impegno visivo della cernita manuale.

Pertanto il fondo della cabina luce grigio non viene coperto o alterato: simula il colore dell'acciaio inox del nastro trasportatore su cui poggia un modulare aperto.

Il 2D Color Analyzer CA-2000 misura rapidamente, mediante la sua combinazione strumentale hardware/software, la distribuzione cromatica, l'uniformità e la luminanza ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

Durante le prime misurazioni si verifica che

- i dati misurati per lo spinacio fresco e asciutto e per quello lavato e bagnato sono molto simili: pertanto si sceglie di procedere solo con la foglia di spinacio fresco, eliminando dalla sperimentazione quella lavata e bagnata
- sussiste una non trascurabile differenza cromatica tra il retro e il fronte della foglia fresca più scuro. Si decide di sistemare sul campione la foglia dello spinacio sempre nello stesso verso, con il retro rivolto verso il basso
- è più opportuno ammassare più foglie di spinacio cotto una sull'altra per permettere di individuare più facilmente sulla loro superficie i 20 punti per i rilievi successivi, poiché la singola foglia cotta tende ad aderire troppo sul nastro appiattendosi e riducendo sensibilmente la sua superficie
- tre campioni, i campioni L, 3, 5, vengono eliminati dalla sperimentazione poiché della stessa tinta NCS di altri già presenti.

### ***Dati rilevati***

Per ogni campione si selezionano i seguenti punti di misura

2 punti sul campione del tappeto in esame

1 punto sulla mosca

20 punto sulla foglia dello spinacio

Per ogni punto di colore investigato lo strumento misura i valori di

- luminanza  $L_v$  ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )
- la temperatura di colore CCT (K), qui col simbolo T(K)
- le coordinate colorimetriche x,y (sistema CIE, 1931) che permettono di visualizzare il punto nel diagramma di cromaticità CIE
- le coordinate tristimolo XYZ.

Si procede in modo analogo su tutti i campioni della tabella 9.6. e sui campioni della tabella 9.7.

Per ogni campione si eseguono due misurazioni, una con la foglia fresca ed una con la foglia cotta effettuando pertanto in totale 44 misurazioni, dove la mosca è sempre presente.

Qui a seguito sono riportati due soli esempi della procedura attuata su un campione di un nastro flat top e su uno modulare aperto. Le elaborazioni realizzate in modo analogo su tutti gli altri campioni sono riportate negli allegati.



### Distinzione tra nastri modulari aperti e modulari chiusi

Per potere avere numerosi dati sono stati esaminati in questa fase anche i *nastri modulari chiusi*. Questi presentano sul fronte una struttura a maglie simile a quelli aperti, ma sul retro la loro superficie è chiusa. Durante la sperimentazione sono stati nominati “nastri modulari chiusi”.

- **I dati rilevati su un campione di nastro chiuso: il campione Blurogel e foglia fresca**

E' il tappeto in uso in Orogel per il trasporto dello spinacio fresco e lavato.

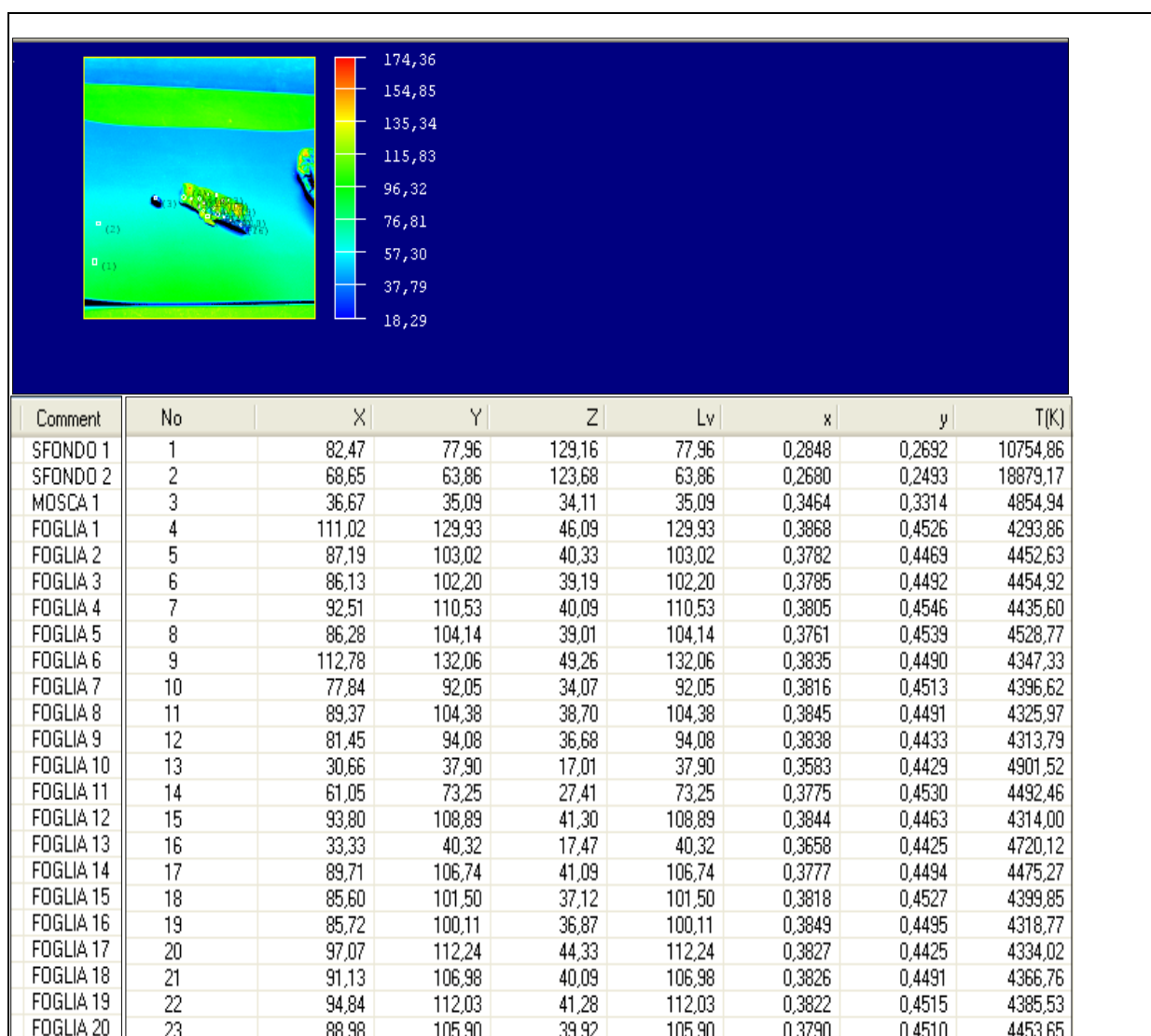


Fig.9.10. Le coordinate colorimetriche, la luminanza e la temperatura di colore T(K) dei 23 punti di misura

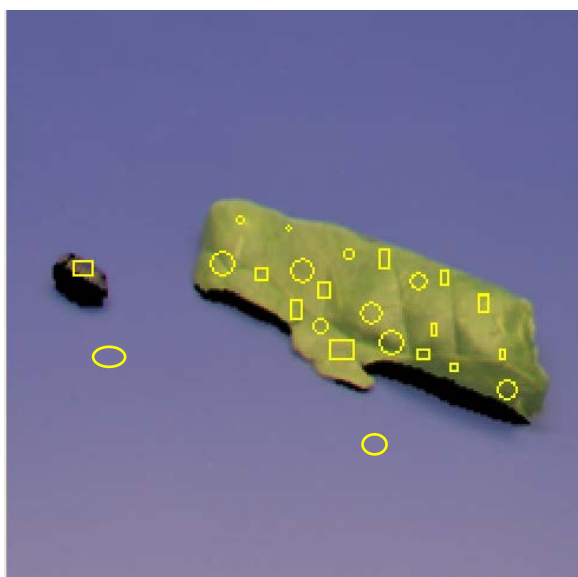


Fig. 9.11. Gli spot di mosca, nastro e foglia fresca sul campione Bluorogel .

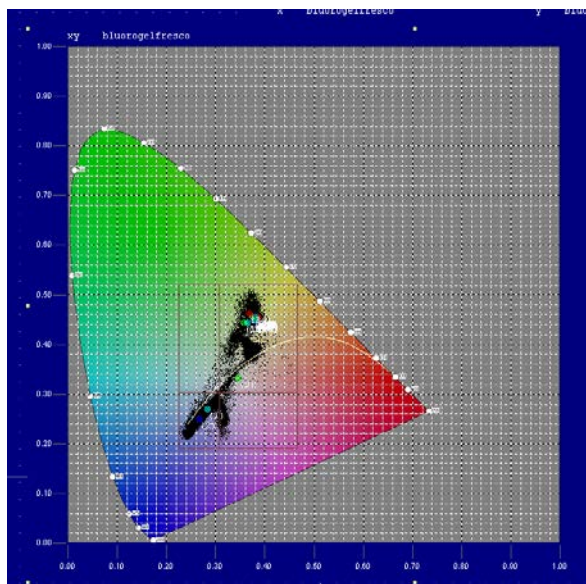


Fig. 9.12. Il Diagramma di Cromaticità CIE, 1931

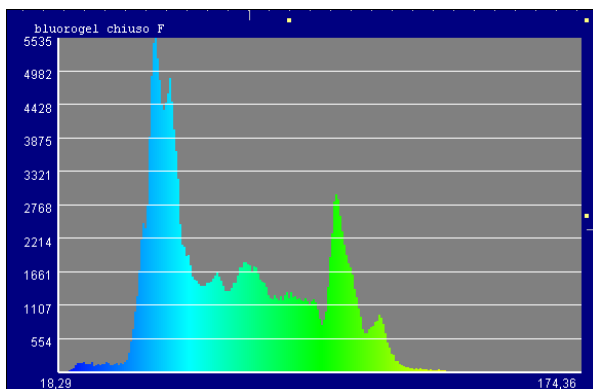


Fig. 9.13. L'andamento della luminanza  $L_v$

- **I dati rilevati su un campione di nastro modulare aperto: il campione C e foglia cotta**

Questo nastro modulare aperto bianco si usa attualmente in Orogel dopo la scottatura ed il raffreddamento.

Su questo nastro si esegue la selezione manuale in Zona Cernita.

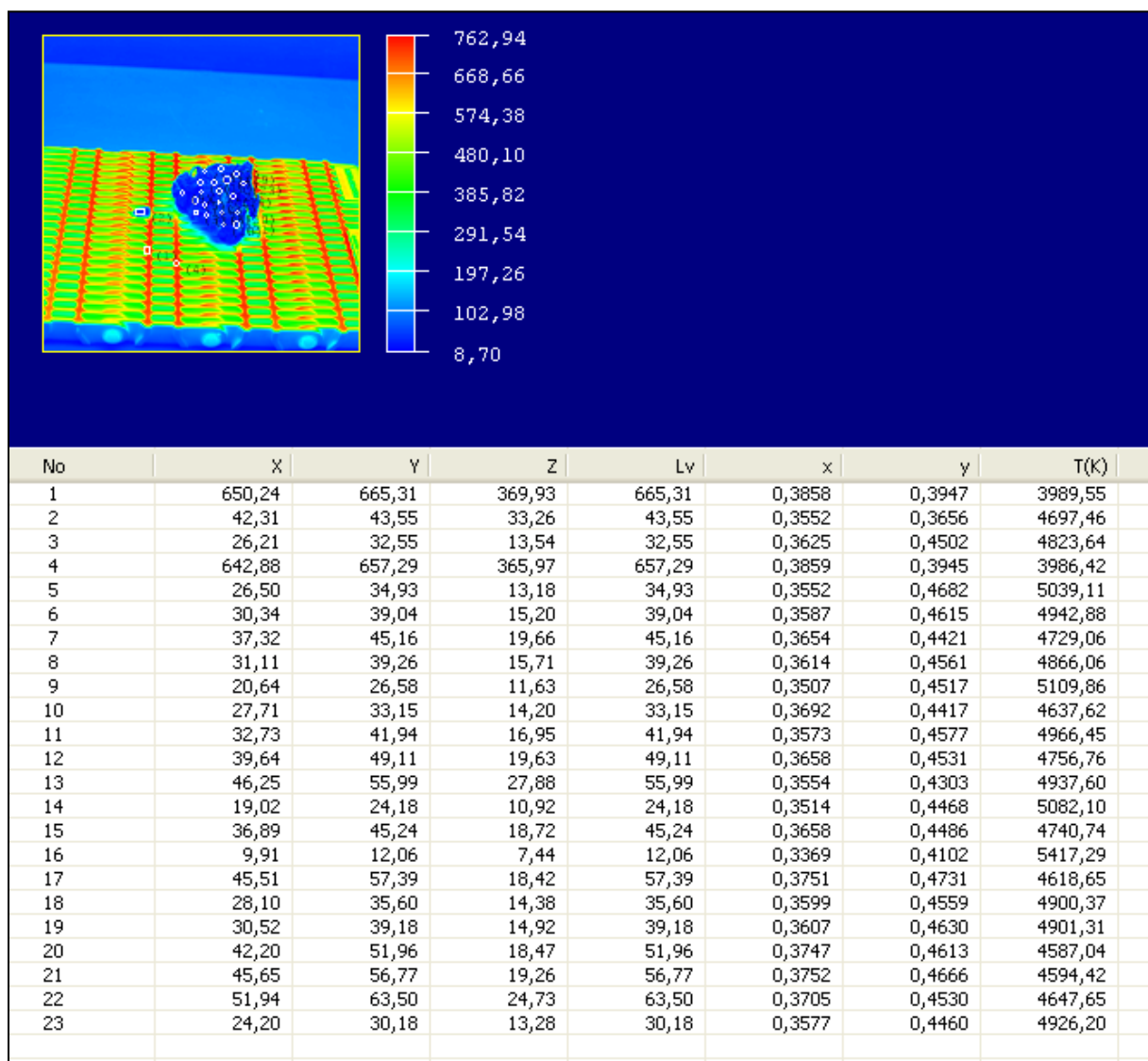


Fig.9.14 Le coordinate colorimetriche, luminanza e T(K) dei 23 spot

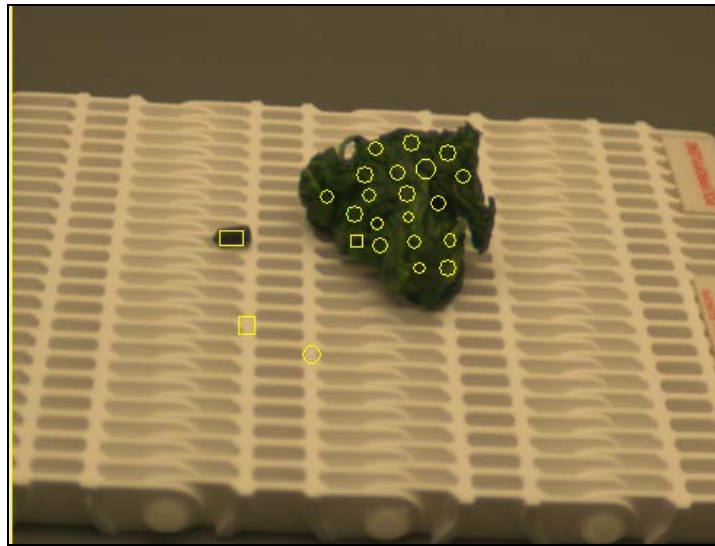


Fig. 9.15. I punti di colore sul campione C

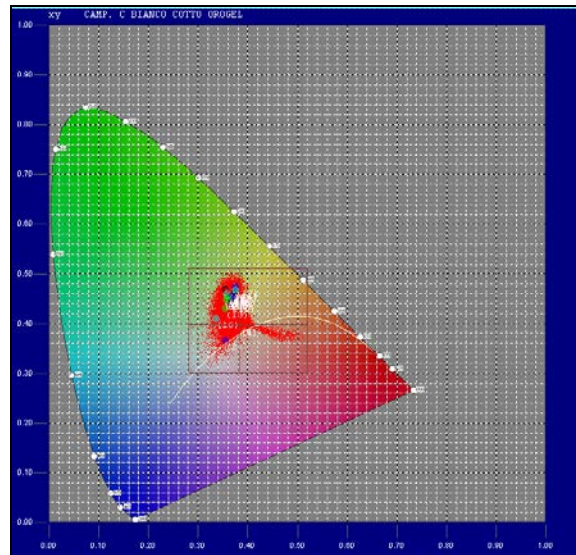


Fig.9.16 Il Diagramma di Cromaticità CIE, 1931

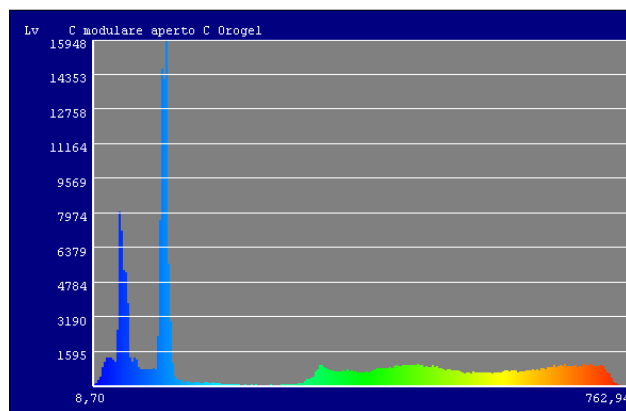


Fig.9.17 L'andamento della luminanza  $L_v$

### **9.3. Risultati delle prove colorimetriche**

#### **Elaborazione dei dati**

Essendo lo spazio CIE 1931 uno spazio percettivo non uniforme per la descrizione dei punti analizzati si passa allo spazio CIELAB 1976 esprimendo i dati ottenuti con le coordinate cilindriche  $L^*a^*b^*$ .

Avendo utilizzato nella sperimentazione l'illuminante TL84 ( $x=0,38052$ ,  $y=0,37713$ ; CCT 3816 K) ed essendo il rapporto

$$\frac{Y}{Y_n} > 0,008856$$

(dove  $Y_n = 100$ )

la differenza tra i colori in questo spazio è rappresentata dalla distanza Euclidea  $\Delta E$ .

Presi due colori di coordinate  $(L_1^*, a_1^*, b_1^*)$  e  $(L_2^*, a_2^*, b_2^*)$  la loro differenza è data, infatti, dalla formula

$$\Delta E = [ (L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2 ]^{1/2}$$

#### **Calcolo dei $\Delta E$ , verifica dei loro valori e calcolo del $\Delta E$ medio**

Si calcola per ogni punto di analisi di ogni campione (tabelle 9.6 e 9.7) il  $\Delta E$

- tra i 2 punti dello sfondo per controllare l'uniformità della sua tinta.

Verifica di  $\Delta E < 10$ : solo se tale condizione è soddisfatta la tinta percepita è *molto simile*.

Si calcola quindi:

- il  $\Delta E$  tra il punto di colore mosca e la media dei 2 punti di colore del tappeto.

Si verifica che il valore del  $\Delta E > 10$  in quanto le tinte percepite sono significativamente *differenti*.

- il  $\Delta E$  tra ognuno dei 20 punti investigati nell'area della foglia e un punto dello sfondo ottenendo per ogni campione 20  $\Delta E$ , dei quali si è fatto il calcolo del loro valore medio.

Distinguendo i tappeti chiusi da quelli modulari aperti, per ogni campione si definisce il  $\Delta E$  tra

- $\Delta E$  medio mosca e tappeto
- $\Delta E$  medio foglia spinacio fresca e tappeto
- $\Delta E$  medio foglia spinacio cotta e tappeto

I dettagli dei calcoli del  $\Delta E$  di tutti i campioni di nastri esaminati sono raccolti negli allegati.

### Grafici di elaborazione dei $\Delta E$

I valori dei  $\Delta E$  ottenuti come descritto vengono riportati sui seguenti grafici suddivisi nelle tre seguenti serie:

Serie 1: grafici riferiti al  $\Delta E_{\text{medio}}$  mosca/tappeto

Serie 2: grafici riferiti al  $\Delta E_{\text{medio}}$  della foglia fresca di spinacio/tappeto

Serie 3: grafici riferiti al  $\Delta E_{\text{medio}}$  della foglia cotta di spinacio/tappeto

#### Serie 1: grafici riferiti al $\Delta E_{\text{medio}}$ mosca

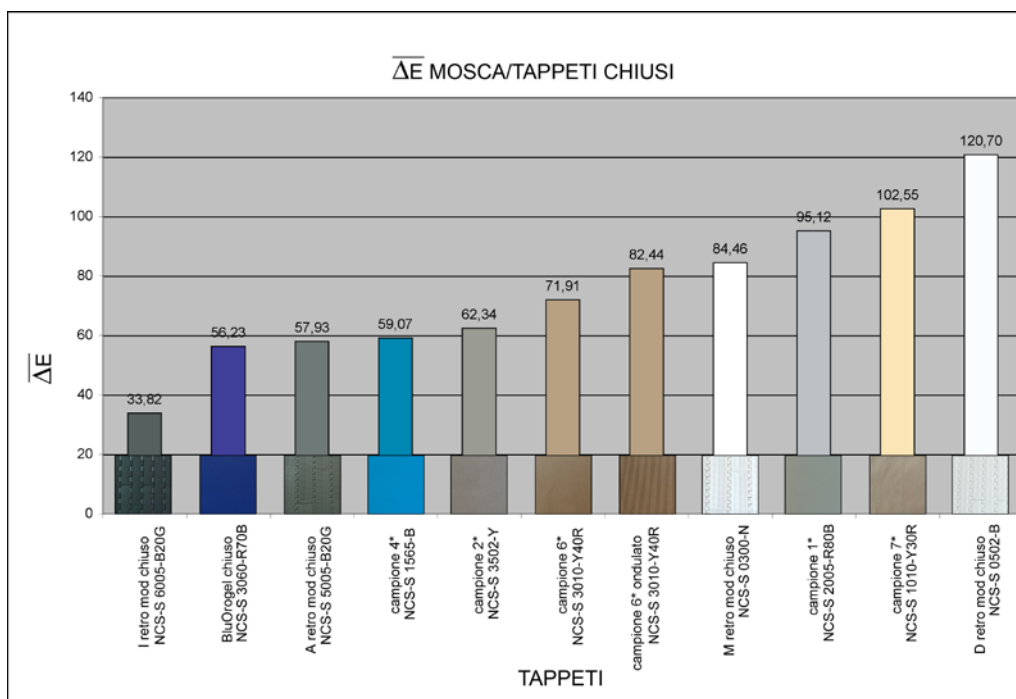


Fig. 9.18. Il  $\Delta E_{\text{medio}}$  mosca/ tappeto effettuato su tutti i campioni dei nastri flat top e dei retro dei tappeti modulari chiusi

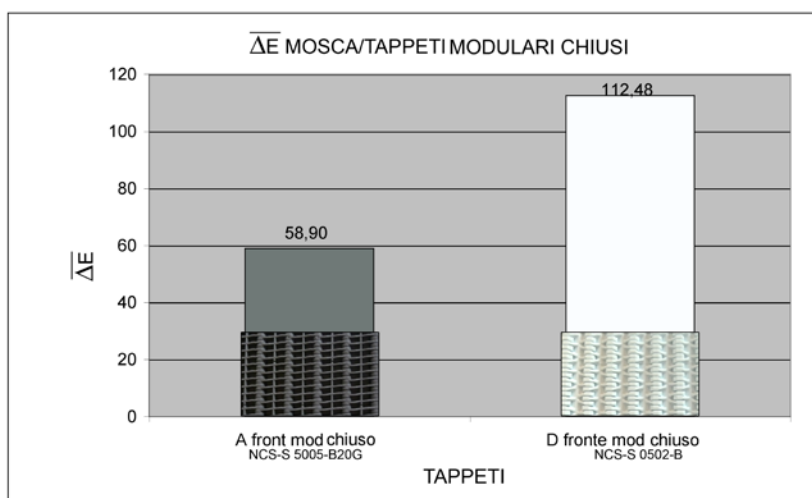


Fig.9.19. Il  $\Delta E_{\text{medio}}$  mosca/ tappeti di 2 campioni dei fronti dei tappeti modulari chiusi

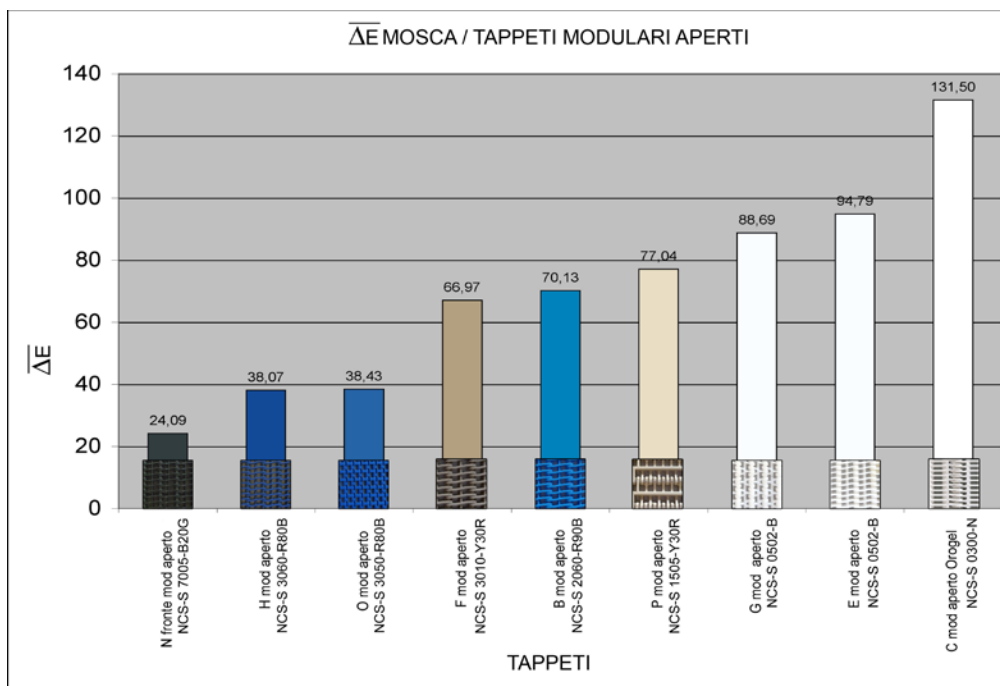


Fig.9.20. Il  $\Delta E_{medio}$  mosca/tappeto dei campioni dei nastri modulari aperti

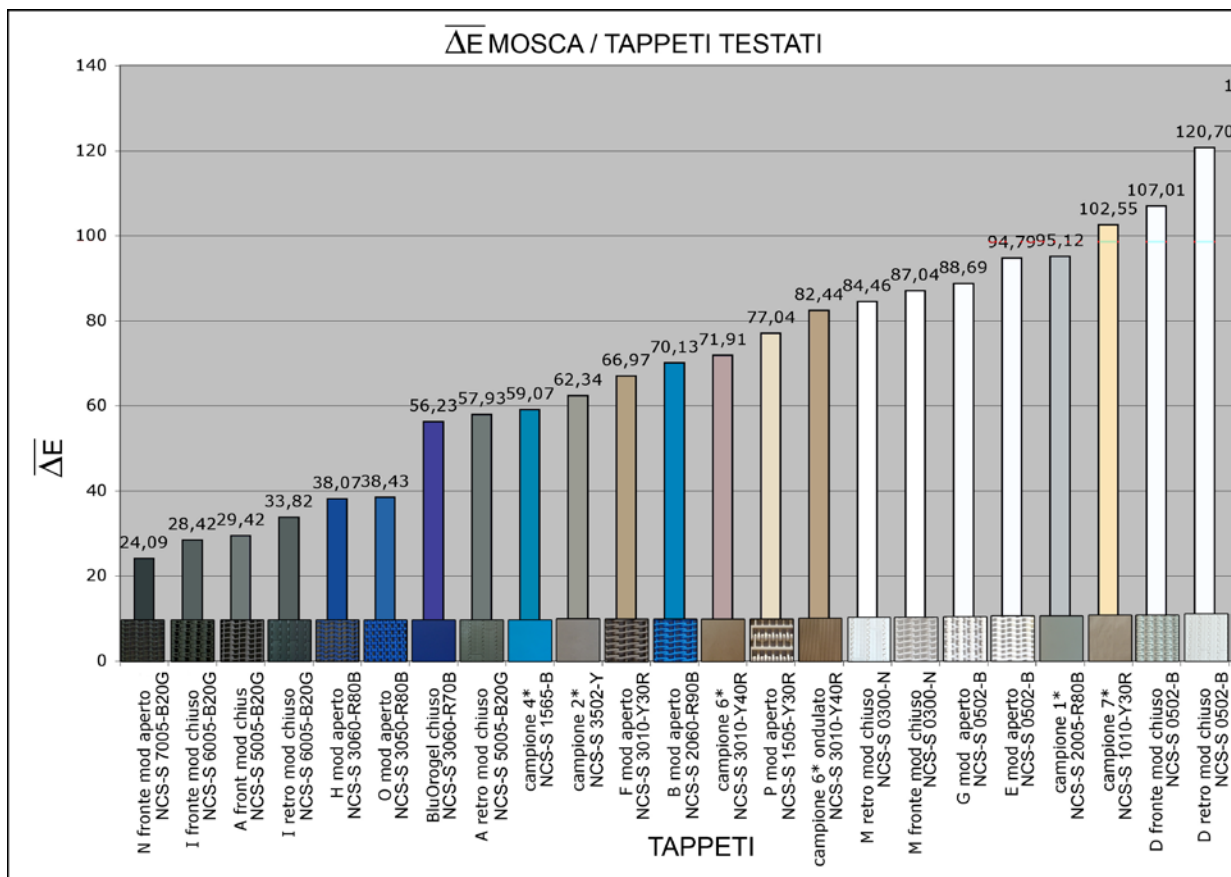


Fig.9.21. Il  $\Delta E_{medio}$  mosca/tappeto di tutti i campioni testati

**Serie 2: grafici riferiti al  $\Delta E_{medio}$  spinacio fresco**

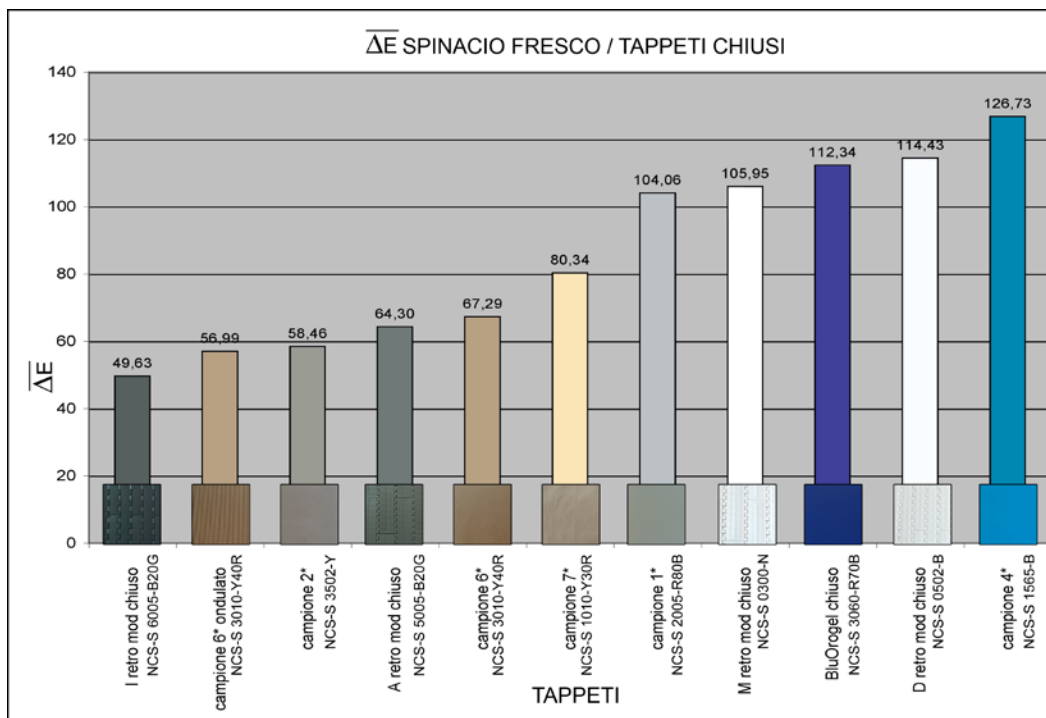


Fig.9.22. Il  $\Delta E_{medio}$  spinacio fresco/ tappeto di tutti i campioni dei nastri flat top e dei retro dei modulari chiusi

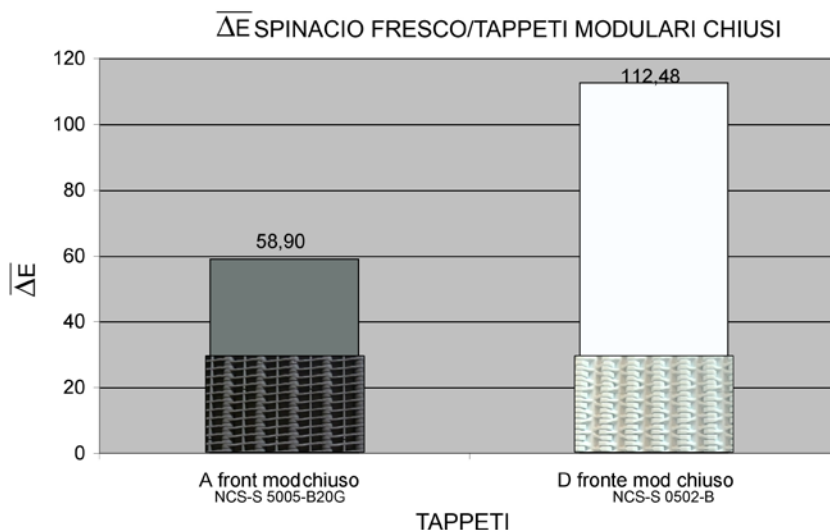


Fig.9.23. Il  $\Delta E_{medio}$  spinacio fresco/ tappeto dei 2 campioni dei fronti dei nastri modulari chiusi esaminati



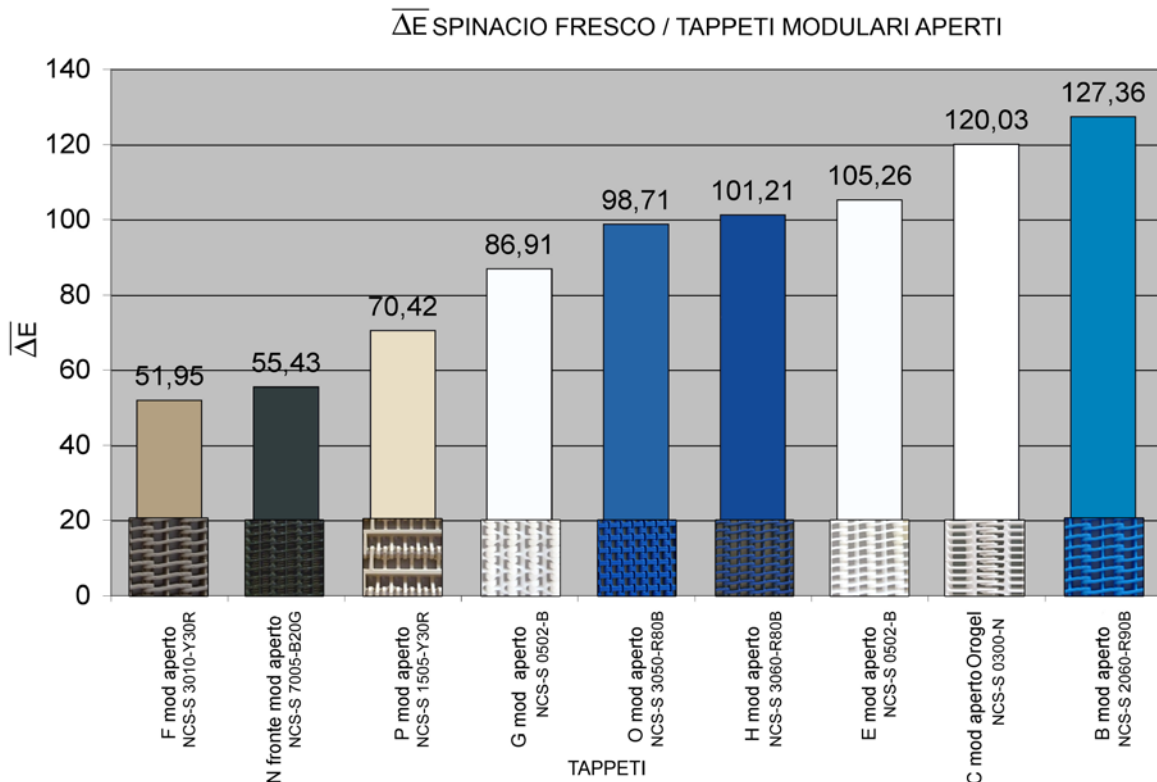


Fig.9.24. Il  $\Delta E_{medio}$  spinacio fresco/ tappeto dei campioni dei nastri modulari aperti testati

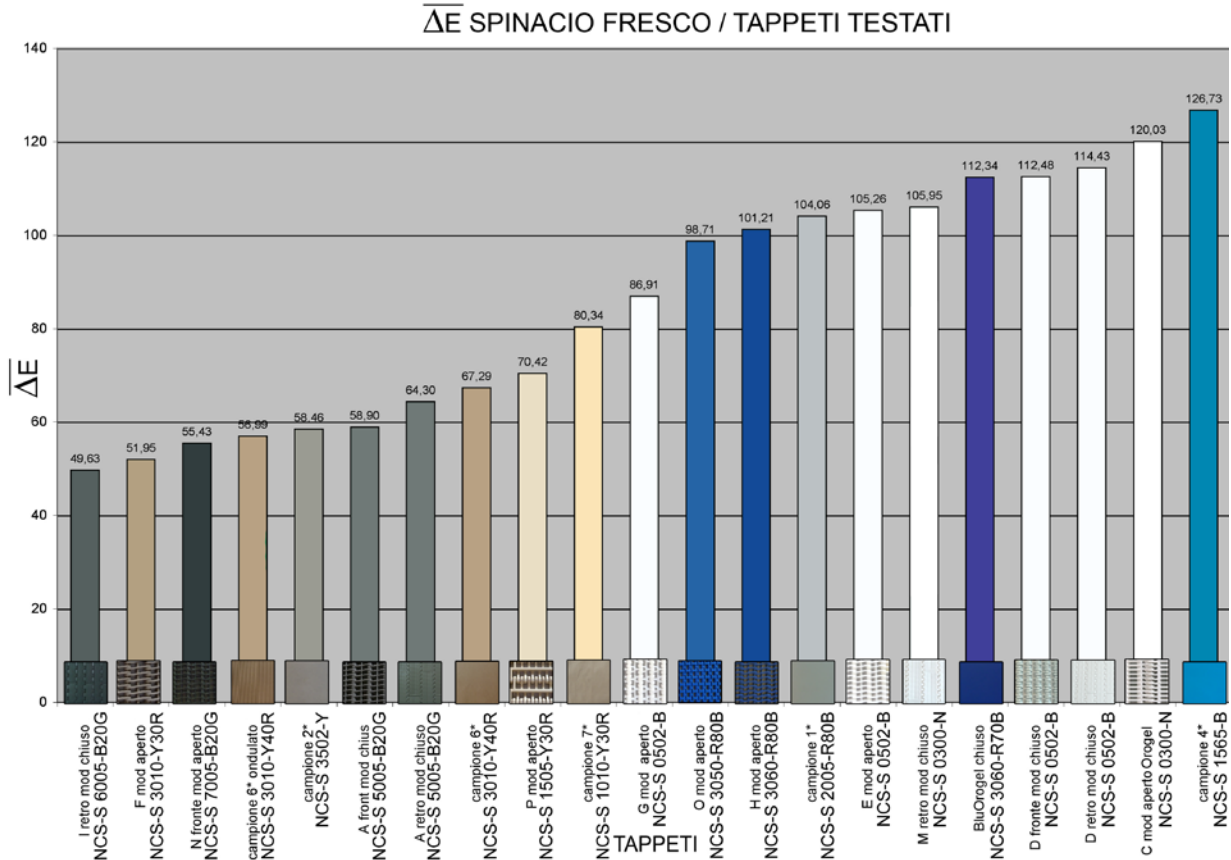


Fig.9.25. Il  $\Delta E_{medio}$  spinacio fresco/ tappeto di tutti i campioni esaminati

**Serie 3: grafici riferiti al  $\Delta E_{medio}$  spinacio cotto**

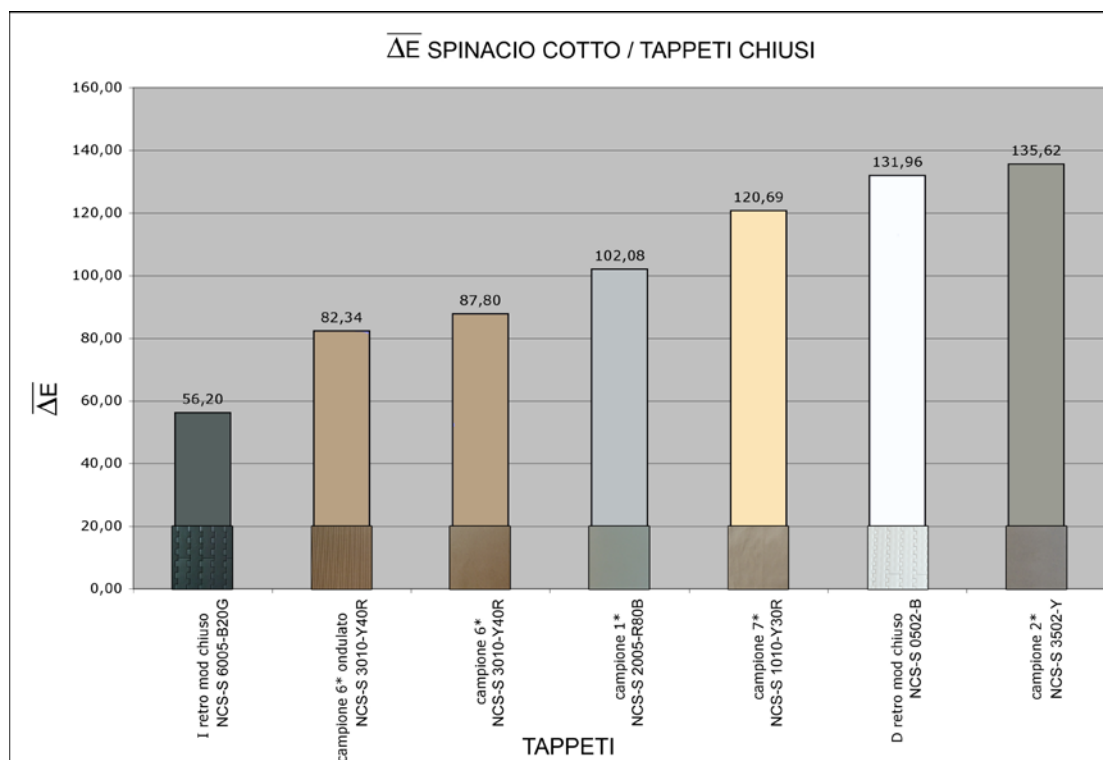


Fig.9.26. Il  $\Delta E_{medio}$  spinacio cotto/ tappeto dei campioni dei nastri flat top e dei retro dei modulari chiusi

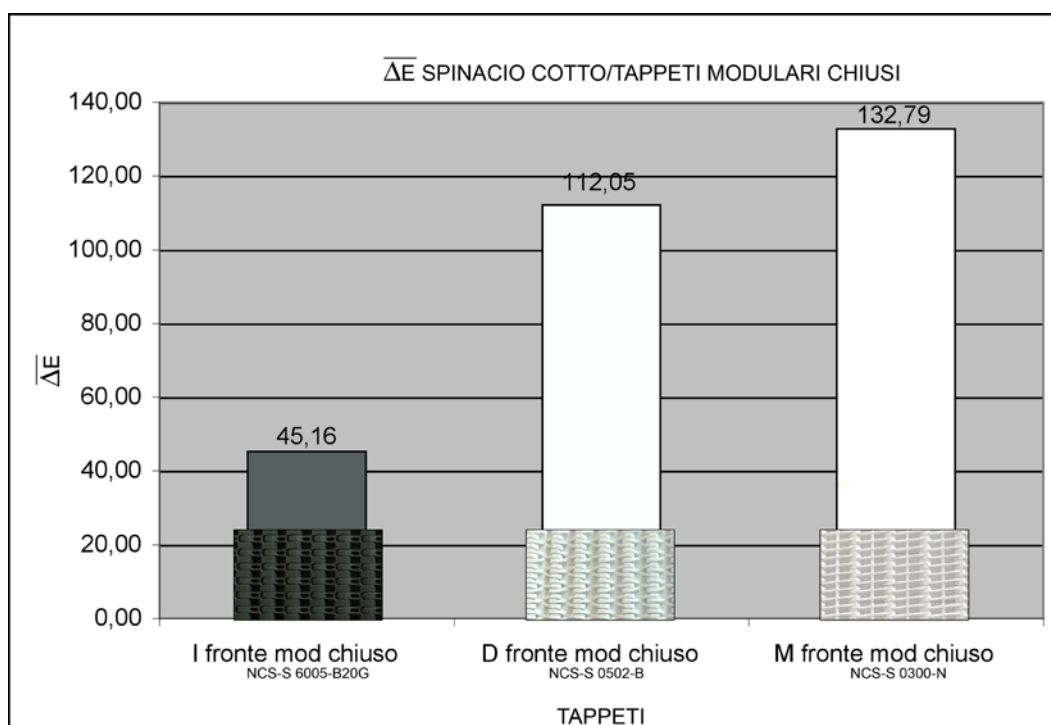


Fig.9.27. Il  $\Delta E_{medio}$  spinacio cotto/ tappeto dei campioni modulari chiusi esaminati

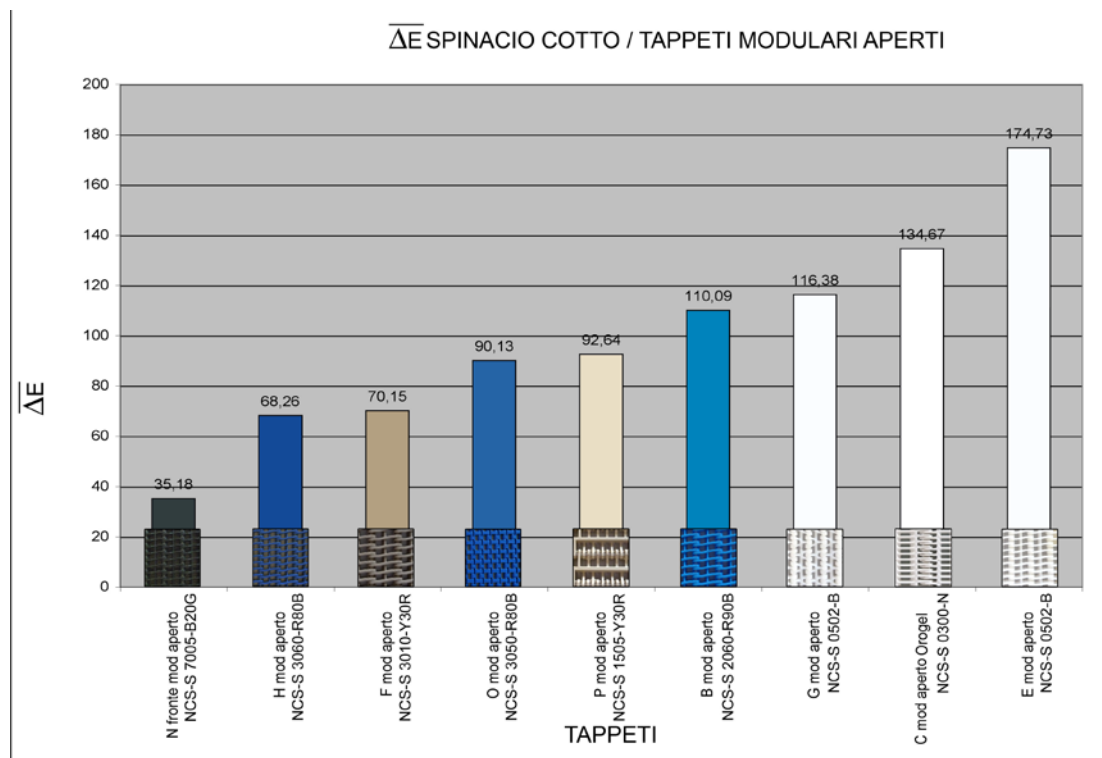


Fig.9.28. Il  $\overline{\Delta E}_{medio}$  spinacio cotto/ tappeto dei campioni dei nastri modulari aperti testati

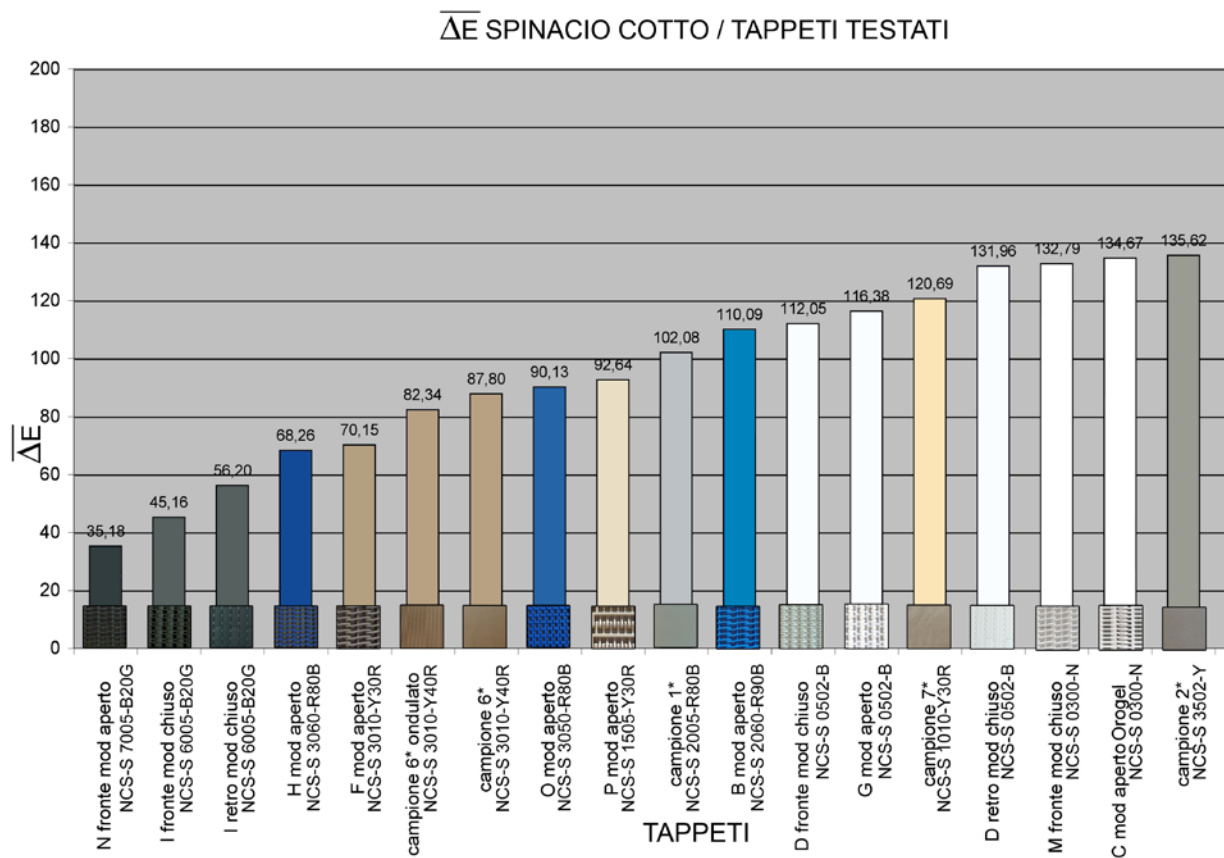


Fig.9.29. Il  $\overline{\Delta E}_{medio}$  spinacio cotto/ tappeto di tutti i campioni esaminati

#### **9.4. Test percettivo**

Comprende la valutazione soggettiva di tutti i campioni con test percettivi opportunamente realizzati e la successiva elaborazione dei risultati in grafici.

Questa fase è indispensabile in quanto da ricerche sulla modellizzazione del sistema visivo risulta importante, data la complessità del sistema visivo umano, validizzare le misure strumentali con risultati di test percettivi (Rizzi et al., 2007).

#### **Preparazione del test percettivo**

Comprende due step

- STEP 1: Elaborazione di un questionario efficace, breve e semplice da processare
- STEP 2: Realizzazione di una postazione per lo svolgimento del test

#### **Questionario**

Il seguente questionario è stato realizzato in base agli studi del professor Rizzi, Dipartimento di Informatica e Comunicazione, Università degli Studi di Milano (Rizzi et al., 2007).

*Tab. 9.8. Schema questionario*

---

### **QUESTIONARIO**

- 1. Quale è per te lo sfondo più riposante?**  
SFONDO LISCIO \_\_\_\_\_ SFONDO MODULARE \_\_\_\_\_
- 2. Quale sfondo è il meno riposante?**  
SFONDO LISCIO \_\_\_\_\_ SFONDO MODULARE \_\_\_\_\_
- 3. Su quale sfondo distingui meglio**
  - 3.a) Il corpo estraneo nero (mosca)**  
SFONDO LISCIO \_\_\_\_\_ SFONDO MODULARE \_\_\_\_\_
  - 3.b) il pezzo di guanto blu**  
SFONDO LISCIO \_\_\_\_\_ SFONDO MODULARE \_\_\_\_\_
  - 3.c) la foglia dello spinacio fresca**  
SFONDO LISCIO \_\_\_\_\_ SFONDO MODULARE \_\_\_\_\_
  - 3.d) la foglia dello spinacio cotta**  
SFONDO LISCIO \_\_\_\_\_ SFONDO MODULARE \_\_\_\_\_
  - 3.e) la foglia di un'altra pianta fresca**  
SFONDO LISCIO \_\_\_\_\_ SFONDO MODULARE \_\_\_\_\_
  - 3.f) la foglia di un'altra pianta cotta**  
SFONDO LISCIO \_\_\_\_\_ SFONDO MODULARE \_\_\_\_\_

#### **Campione Test**

Il test percettivo è stato eseguito su un campione di 16 persone, di età compresa tra i 20 ed i 55 anni, età media 38 anni; 10 di sesso femminile e 6 maschile di cui 3 lavorano nell'ambito del colore. Nessuno presenta evidenti difetti visivi, nessun daltonico.

### ***Allestimento della postazione***

Su un tavolo di laminato bianco sono stati posizionati e testati in una prima fase tutti i campioni dei nastri flat top e i retro dei modulari chiusi, in una seconda fase i modulari aperti in condizioni di luce uguali a quelle nel sito Orogel. Per simulare le condizioni in Zona Cernita una fluorescente lineare con resa cromatica  $R_a = 80$  e CCT 4.000 K garantiva un illuminamento uniforme di 500 lux, monitorato dal luxmetro CL200A, Konica Minolta.

### ***Procedura***

Nella prima fase sono stati testati tutti i campioni con superficie liscia (tabella 9.7.), i tappeti flat top e i retri dei modulari chiusi.

Nella prima parte del questionario si richiedeva la scelta del più e del meno riposante (domande 1 e 2) tra tutti i campioni valutati.

Per rispondere alle domande da 3.a) a 3.f) sugli stessi campioni sono stati posizionati in sequenza i seguenti elementi: mosca, pezzo di guanto blu, foglia spinacio fresca, foglia spinacio cotta, foglia lattughino verde fresco e foglia lattughino verde cotto.

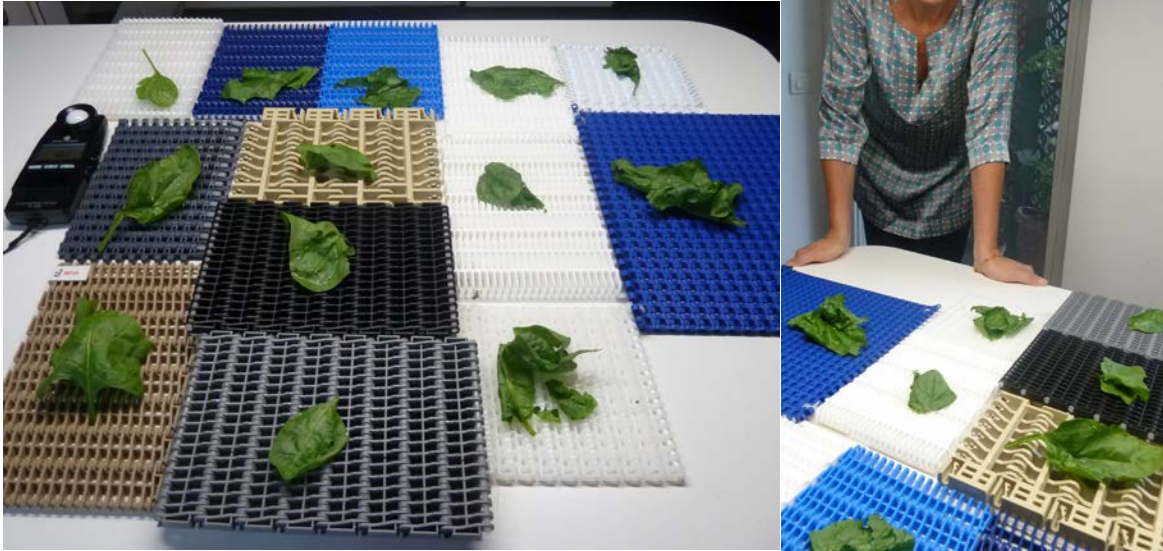
Dopo 15 minuti di intervallo per consentire il riposo visivo, è stato effettuato lo stesso procedimento su tutti i campioni dei nastri modulari aperti.

Durante il test la foglia fresca di spinacio e lattughino verde sono state sostituite ad ogni prova con foglie nuove allo scopo di garantirne l'uniformità cromatica e strutturale.

Le foglie dei vegetali cotti testati hanno subito lo stesso trattamento termico nelle medesime condizioni utilizzate nel cuocitore Orogel.

*Tab.9.9. Le caratteristiche cromatiche degli elementi posizionati sui campioni esaminati durante il test percettivo*

<b>elementi</b>	<b>colore percepito</b>	<b>notazione NCS</b>
gommino nero/ corpo estraneo/mosca	nero	NCS S 8500 N
pezzo guanto blu	blu	NCS S 2050-R80B
foglia spinacio fresca	verde	NCS S-3050-G30Y
foglia spinacio cotta	verde scuro	NCS S 4050- G10Y
foglia lattughino verde fresc a	verde chiaro	NCS S 1060 G40Y
foglia lattughino verde cotta	verde scuro	NCS S 4050-G30Y



*Fig.9.30. Test percettivo: fase di valutazione della foglia fresca di spinacio sui campioni di nastri modulari aperti*

### 9.5. Risultati del Test percettivo

Sono stati valutati ed elaborati mediante i seguenti grafici.

#### Nastri a superficie liscia 10 campioni

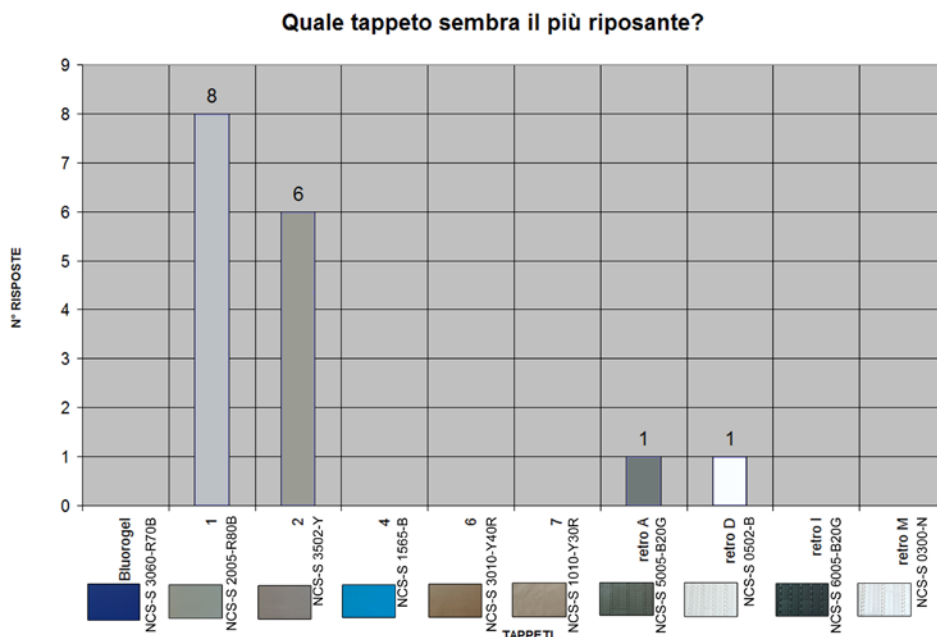


Fig.9.31. Le risposte alla domanda 1

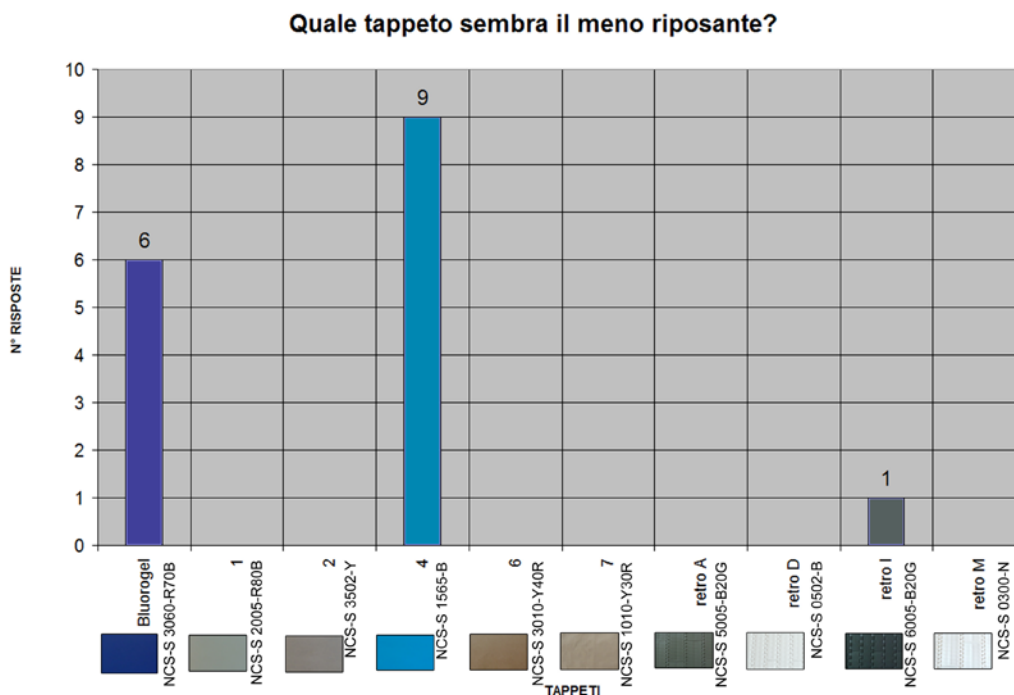


Fig.9.32. Le risposte alla domanda 2

### Su quale tappeto si nota meglio la mosca?

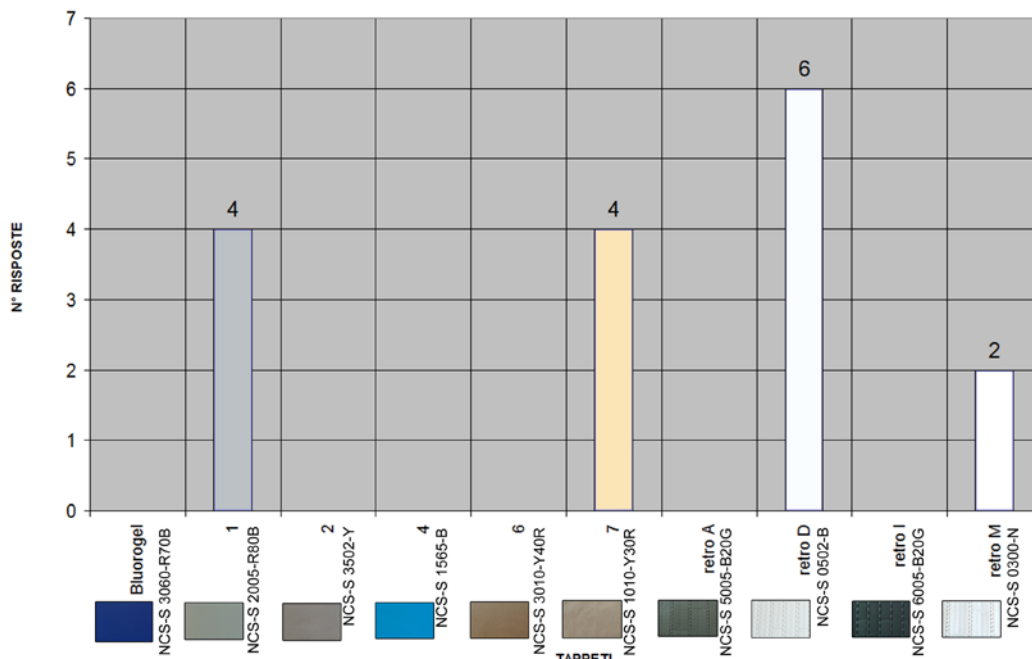


Fig.9.33. Valutazione della mosca

### Su quale tappeto si nota meglio il pezzo di guanto blu?

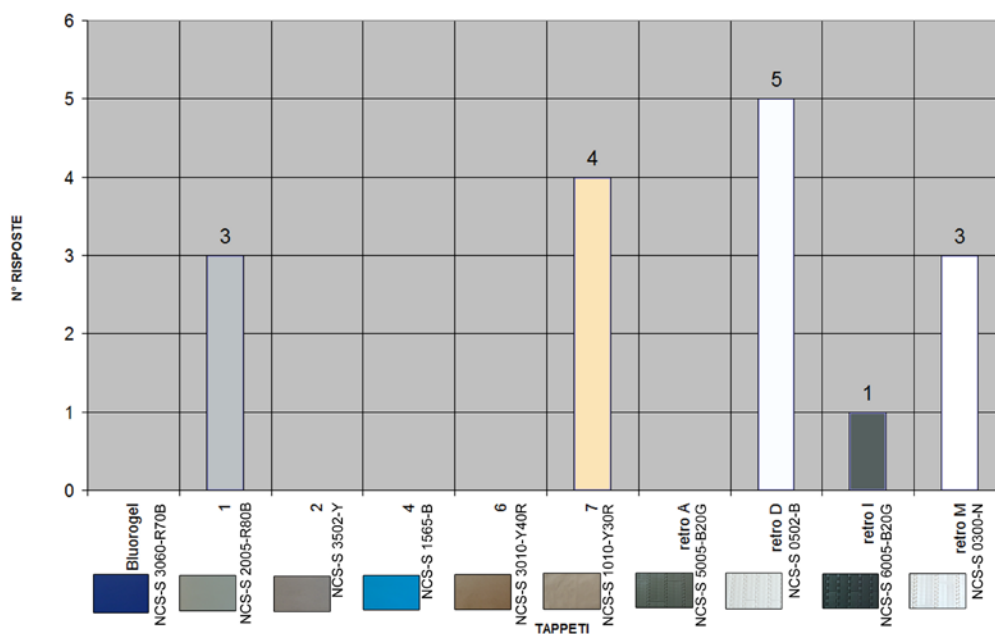


Fig.9.34. Valutazione del guanto blu



### Su quale tappeto si nota meglio la foglia di spinacio fresca?

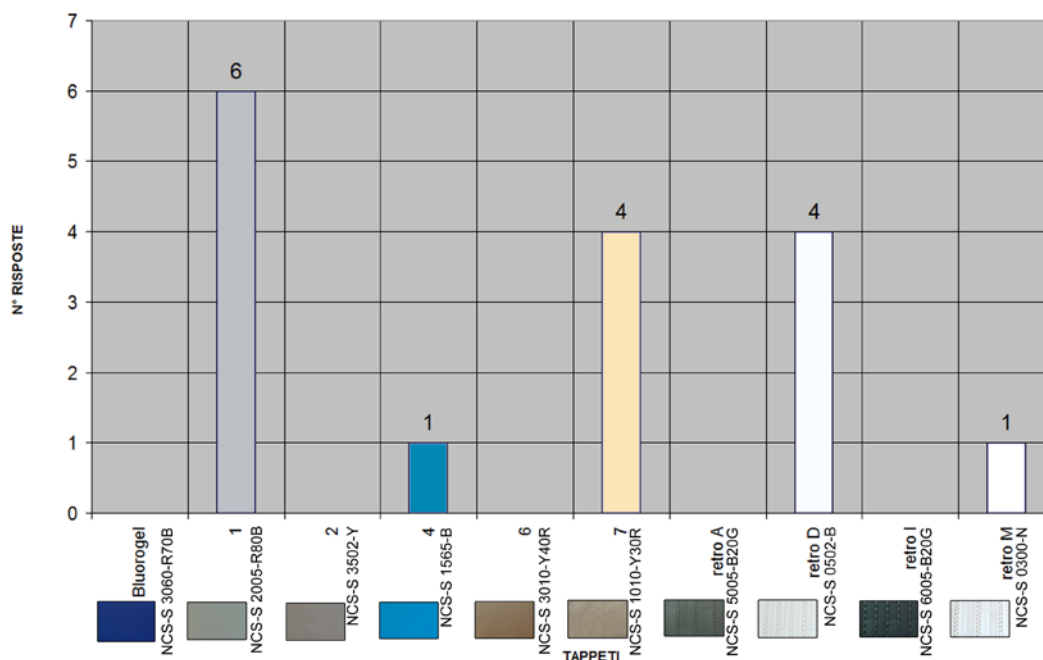


Fig.9.35. Valutazione della foglia fresca di spinacio

### Su quale tappeto si nota meglio la foglia di spinacio cotta?

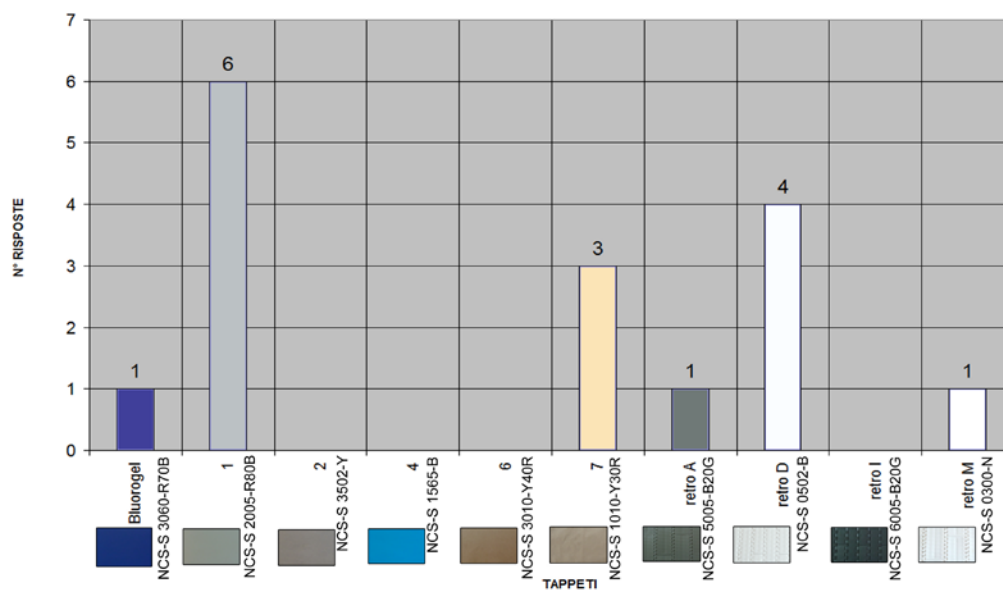


Fig.9.36. Valutazione della foglia cotta di spinacio

**Su quale tappeto si nota meglio la foglia di insalata chiara fresca?**

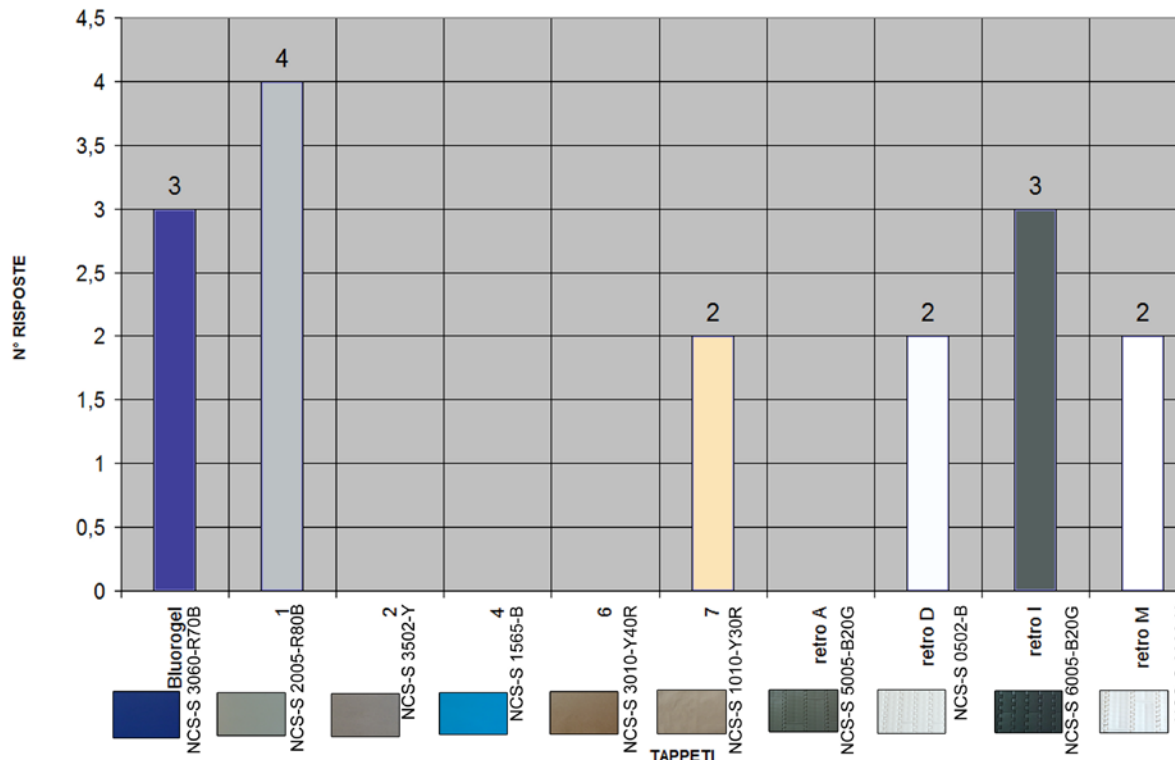


Fig.9.37. Valutazione della foglia fresca di lattughino verde

**Su quale tappeto si nota meglio la foglia di insalata chiara cotta?**

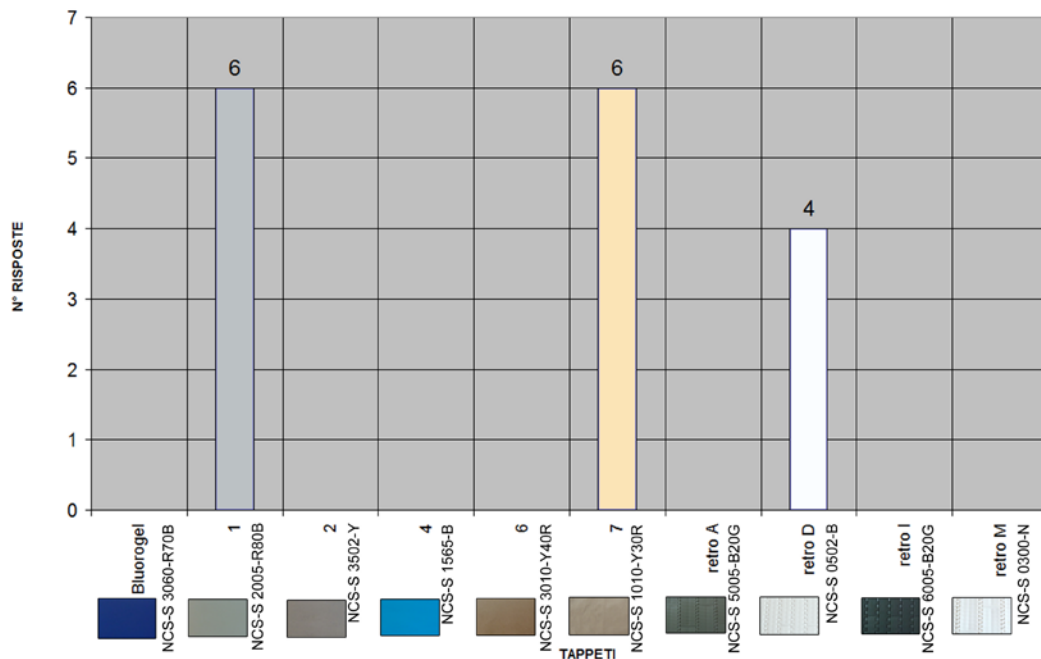


Fig. 9.38. Valutazione della foglia cotta di lattughino verde

**Nastri modulari**  
**13 campioni**

**Quale tappeto sembra il più riposante?**

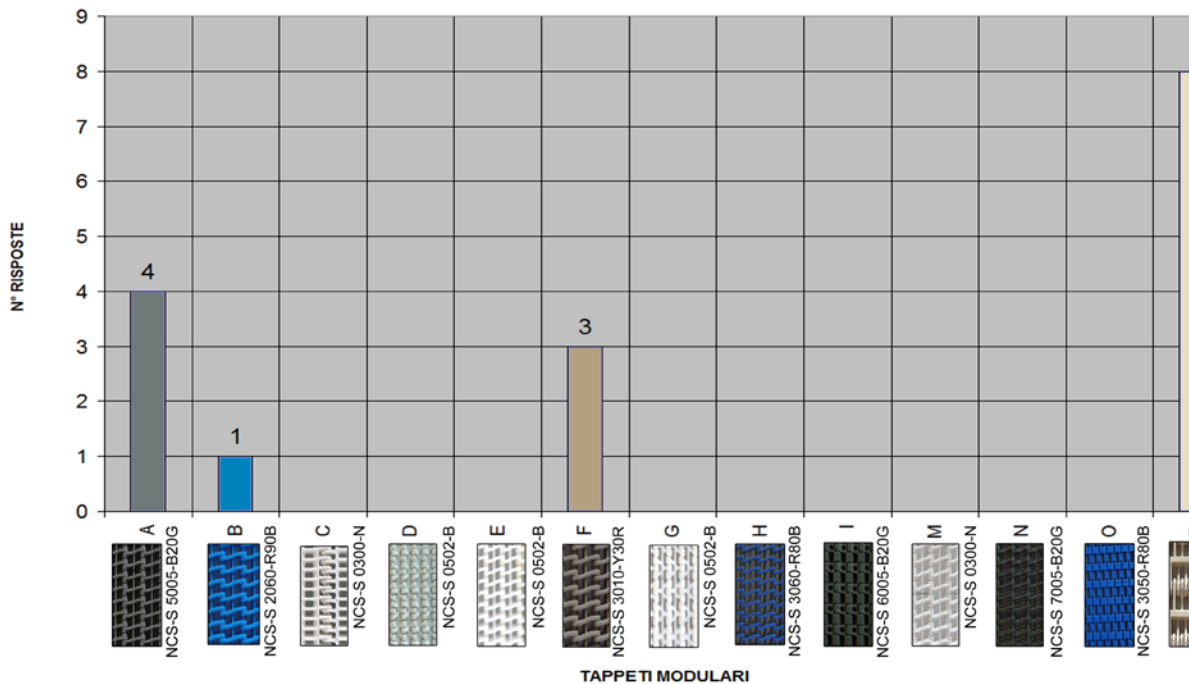


Fig.9.39. Le risposte alla domanda 1

**Quale tappeto sembra il meno riposante?**

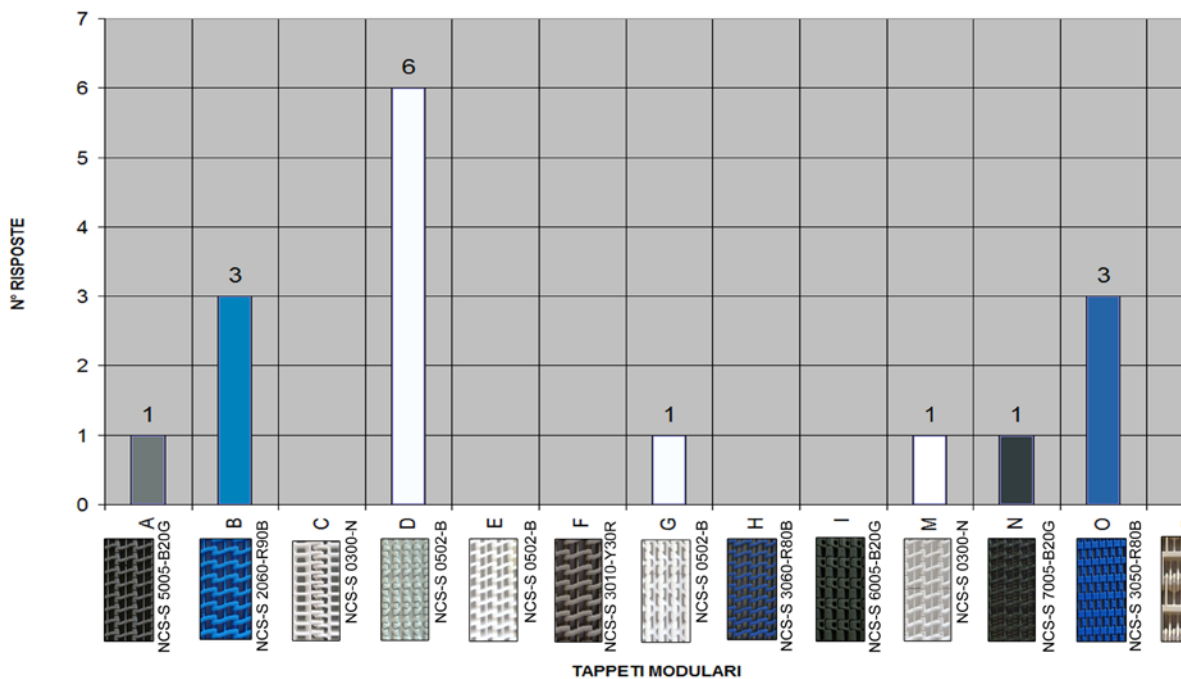


Fig.9.40. Le risposte alla domanda 2

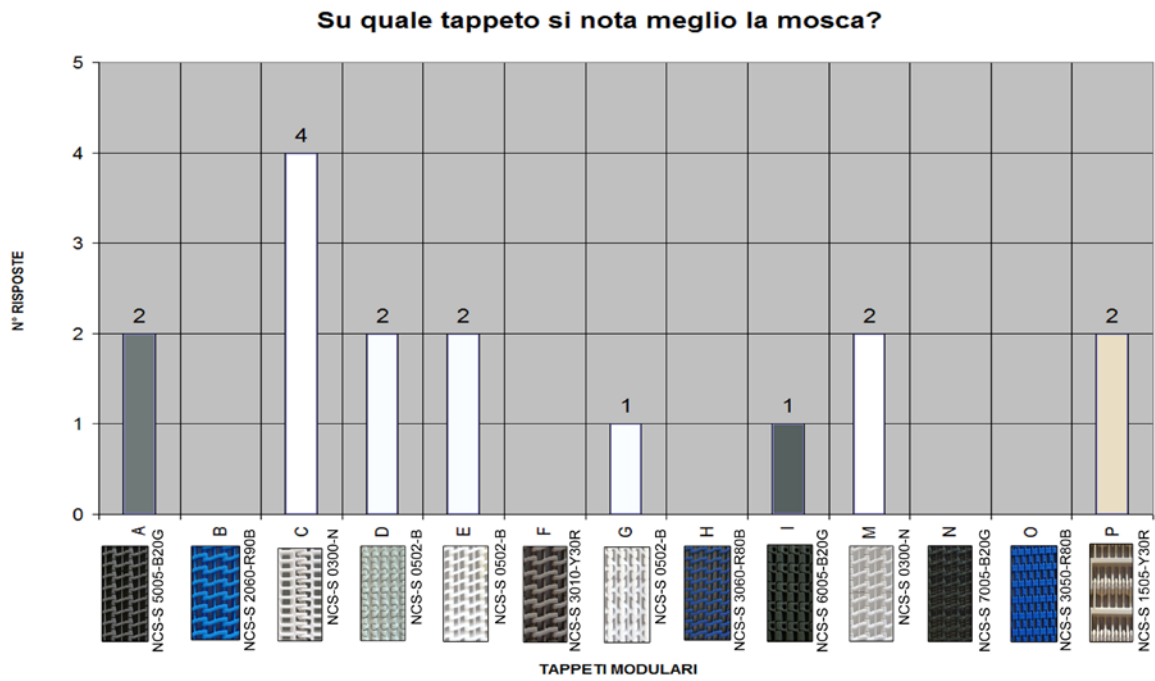


Fig.9.41. Valutazione della mosca

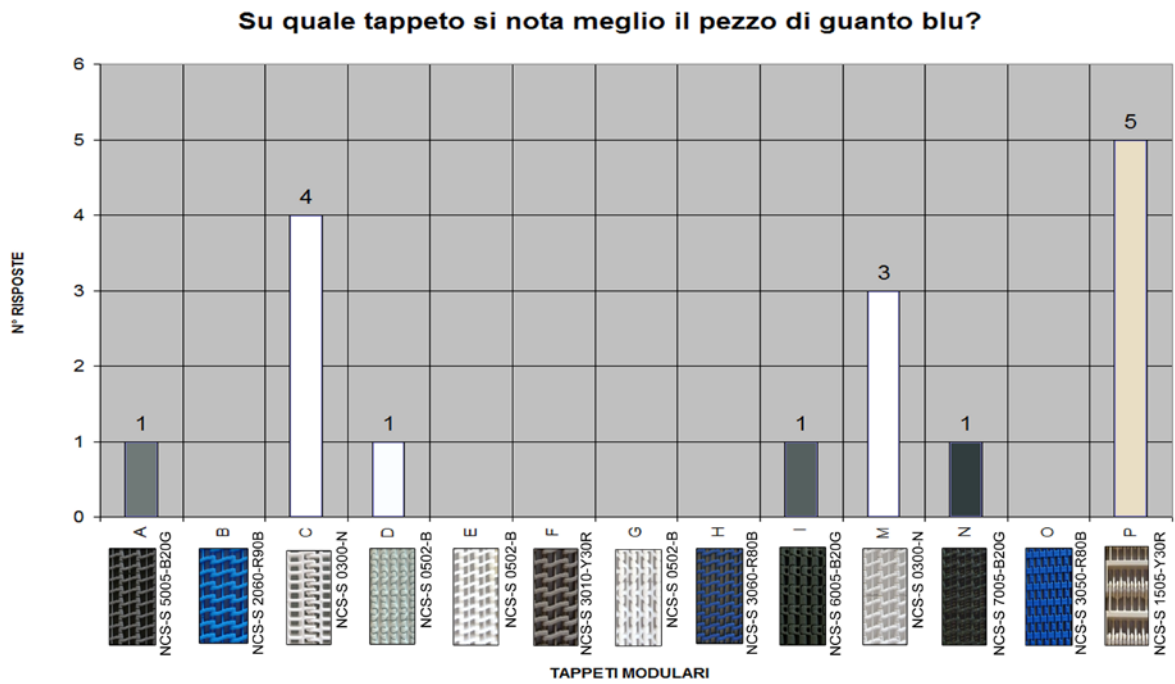


Fig.9.42. Valutazione del guanto blu

**Su quale tappeto si nota meglio la foglia di spinacio fresca?**

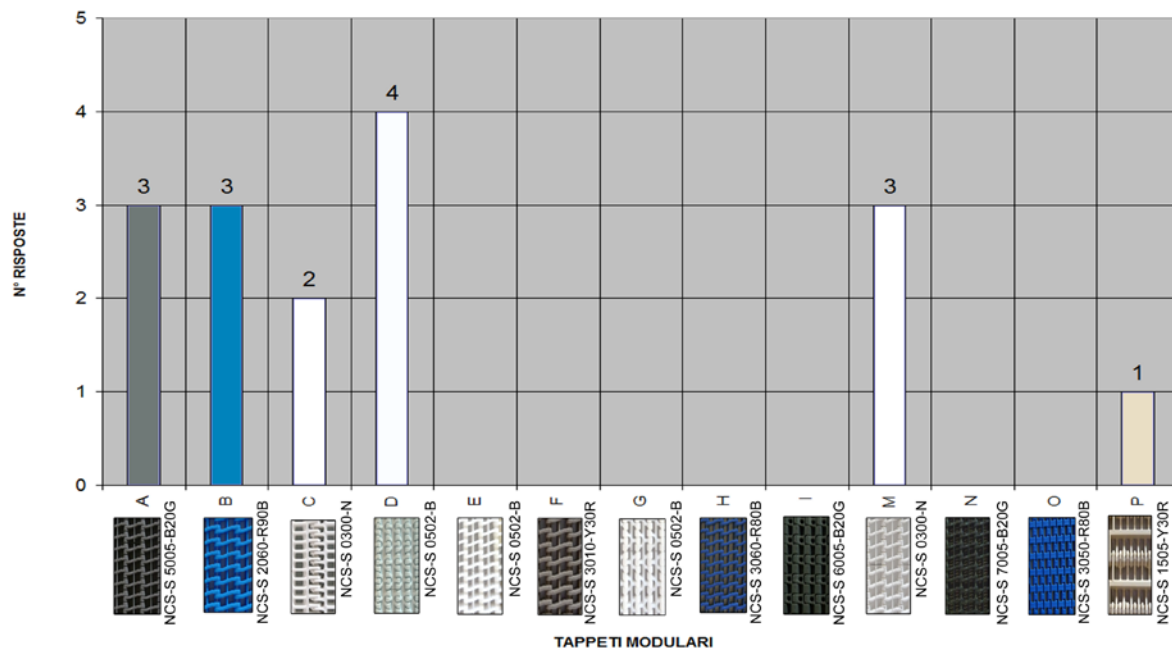


Fig.9.43. Valutazione della foglia fresca di spinacio

**Su quale tappeto si nota meglio la foglia di spinacio cotta?**

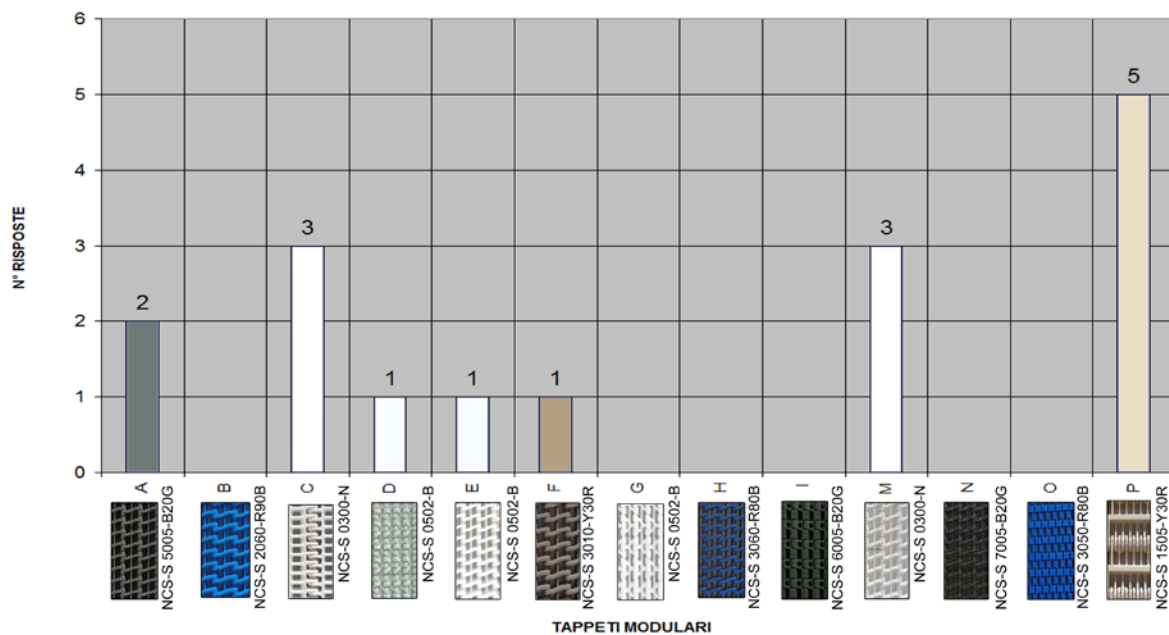
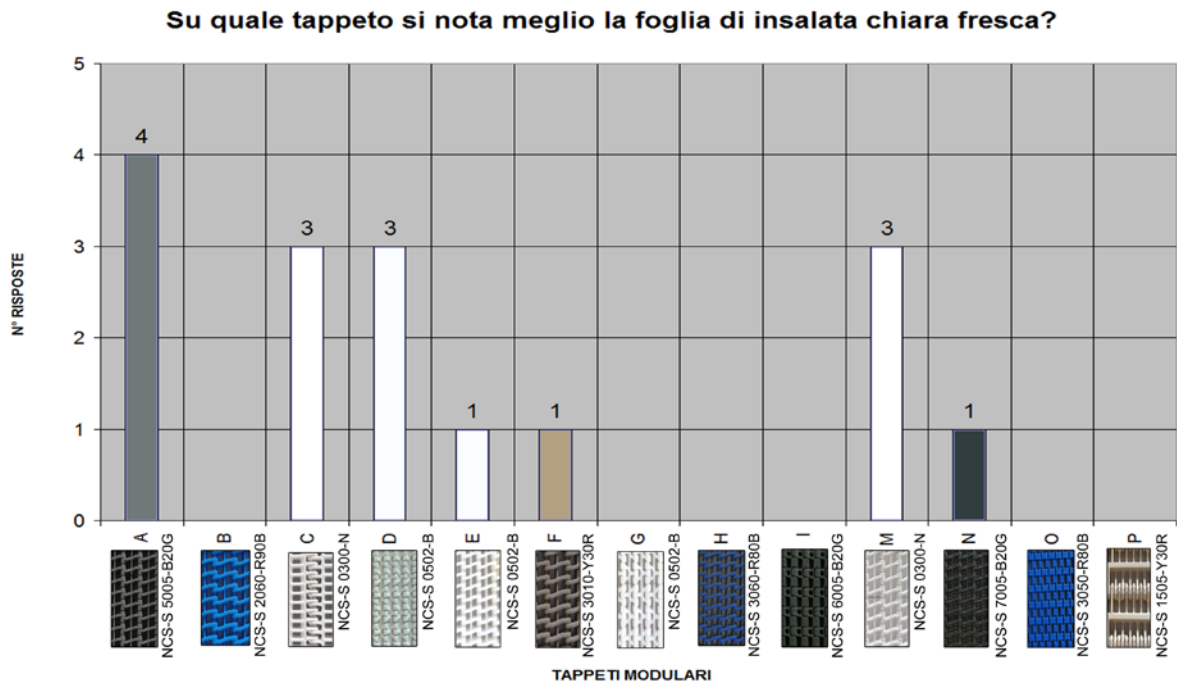
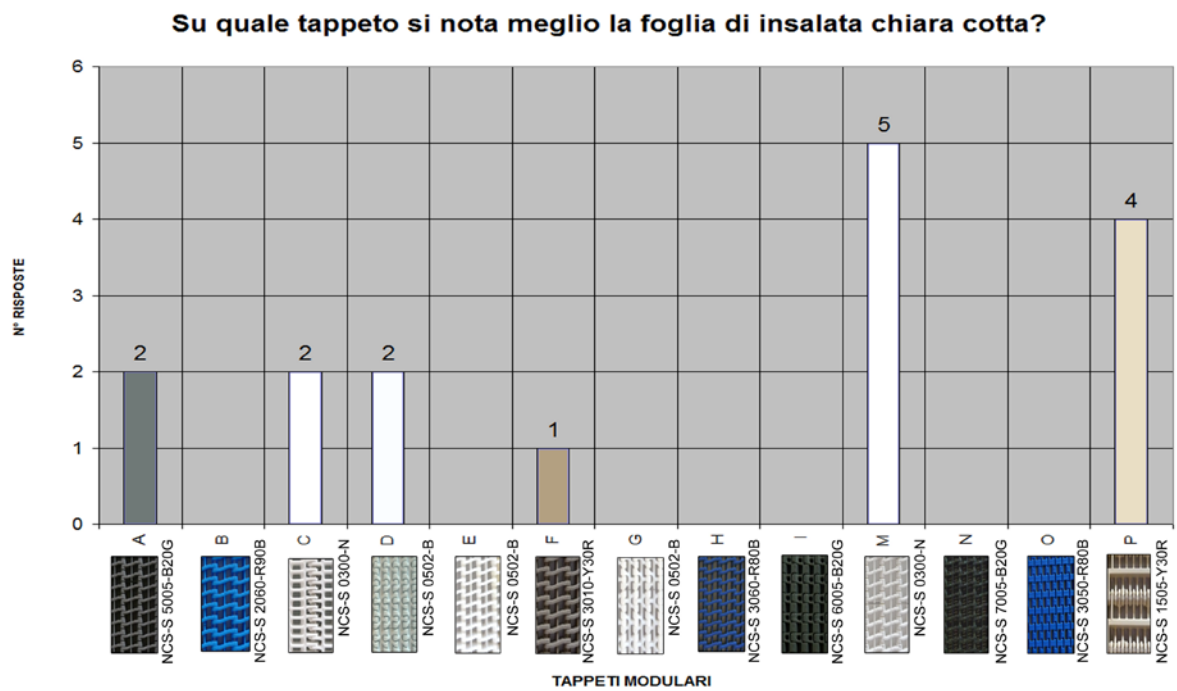


Fig.9.44. Valutazione della foglia cotta di spinacio



*Fig.9.45. Valutazione della foglia fresca di lattughino verde*



*Fig.9.46. Valutazione della foglia cotta di lattughino verde*

## **9.6. Risultati**

### **Considerazioni sulla tinta blu**

Viene rilevata dall'occhio umano in visione prevalentemente extrafoveale (visione periferica), cioè in una visione esterna all'angolo centrale dello sguardo (2°).

La visione periferica è di enorme importanza per lo stress dell'occhio, pertanto passare gran parte dell'arco lavorativo con di fronte o di fianco elementi di colore blu, a maggior ragione se saturo, implica un disagio visivo. L'uniforme Orogel prevede anche un piumone in tinta unita, capello in lana e guanti monouso blu saturo. Pertanto la giacca di questo colore indossata dal collega di fianco, come in tutto il ciclo di lavorazione dello *Spinaci Cubello*, o da quello di fronte, come nella Zona Cernita, può stancare la vista e distrarre il lavoratore.

Ogni tinta difatti, se osservata per un certo lasso di tempo, genera nell'occhio la formazione della post-immagine, processo affaticante. Tanto più la tinta è satura tanto più è indotta la costruzione della post-immagine, la cui persistenza cresce in modo proporzionale alla durata dell'osservazione. Questo fenomeno, estremamente importante per il comfort visivo, è ampiamente descritto nell' Allegato 10.

Queste considerazioni mettono in discussione quella che fino ad oggi è stata la tendenza cromatica delle aziende che operano nel settore agro-alimentare in Italia e in Europa, ovvero, la raccomandazione ad utilizzare nastri trasportatori blu e a dotare gli addetti di uniformi ed accessori blu, come nei siti esaminati ( vedi requisiti BRC/IFS).

I nastri di questa tinta sono, in effetti, i più venduti tra tutti i flat top. (Calzati, 2011)

Si pensi ad un pezzo di guanto che finisce su un nastro che trasporta frutta: lo si noterebbe subito se non fosse blu anche lo stesso nastro e se non si conoscessero in modo più approfondito le regole dei colori.

Questi concetti che potrebbero sembrare corretti e che si tramandano come codici cromatici usuali (requisiti BRC/IFS) in realtà, a seguito di un'analisi più approfondita, si rivelano privi di base scientifica e non corretti.

Secondo una valutazione scientifica sulla visibilità e quindi sul contrasto tra due tinte è noto che il massimo contrasto cromatico si ottiene tra una coppia di colori complementari (blu / giallo, rosso / verde). Pertanto il contrasto massimo per un vegetale verde è un colore della famiglia dei rossi.

Ma massimo contrasto significa massima visibilità solo per tempi molto brevi altrimenti affatica l'occhio, specie se lo sfondo è in movimento. La saturazione di una tinta è sempre affaticante se osservata per tempi prolungati. Questo si evince anche dai risultati dei test percettivi che, alla domanda "Quale tappeto sembra il meno riposante", evidenzia una netta scelta del campione Bluorogel (figura 9.47.), a conferma delle valutazioni colorimetriche ed in contrasto con le raccomandazioni BRC/IFS. Mentre, come controprova, su richiesta di quale fosse invece il nastro più riposante, la maggior parte delle risposte porta la scelta su tappeti neutri desaturati (grigio /grigio caldo) e nessuno vota il tappeto Bluorogel, blu saturo, attualmente in uso in Orogel (figura 9.48.).

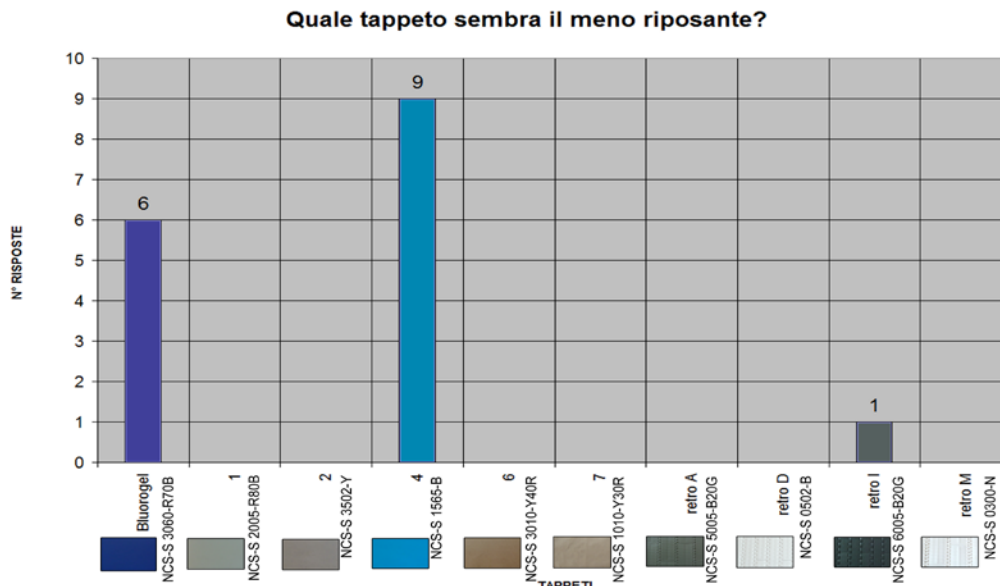


Fig.9.47. Risultati test percettivi su tappeti lisci

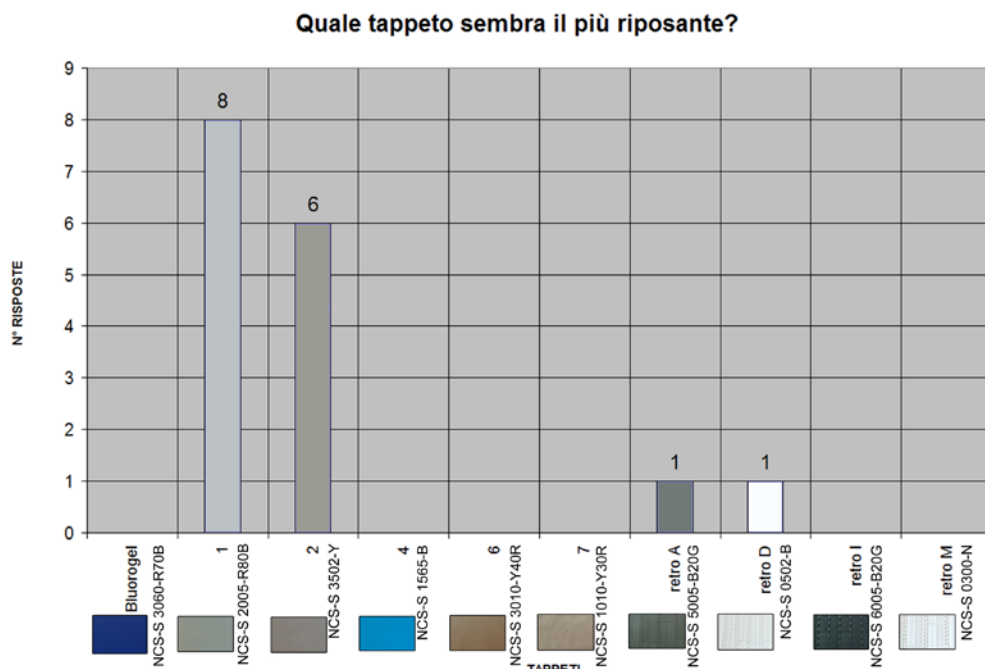


Fig.9.48. Risultati test percettivi su tappeti lisci

Un elevato  $\Delta E$  è indice di sostanziali differenze di tinta e quindi di un forte contrasto tra due colori.

L'occhio umano distingue rapidamente cromatismi contrastati, ma alla lunga (turni di otto ore di selezione o cernita manuale) si affatica e ciò porta inevitabilmente ad un abbassamento dell'attenzione e della concentrazione.

La soluzione cromatica quindi per una selezione di lunga durata non è espressa da un elevato  $\Delta E$  tra spinacio e sfondo, più indicato invece per operazioni di brevissima durata e in condizioni statiche, ovvero senza movimento.



Infatti per una buona selezione e controllo dei prodotti alimentari, l'ambiente deve presentare pochi colori saturi e pochi contrasti in modo che l'occhio, concentrandosi in una zona, avendo tutto l'ambiente periferico uniforme e poco contrastante non si affatichi e resti ben attento alle operazioni in svolgimento.

I prodotti alimentari nel settore della Il Gamma attraversano il processo di trattamento su nastri che scorrono anche per lunghe distanze, sotto il controllo operativo di addetti.

Il continuo movimento, seppure lento, causa affaticamento visivo così come la struttura del nastro su cui avanza il prodotto da selezionare.

In Orogel i nastri blu, nastri flat top (si veda campione Bluorogel) soggetti ad controllo molto superficiale, si muovono ad una velocità di 36 m/minuto.

La selezione manuale in zona cernita avviene invece su nastro modulare bianco (campione C) che scorre a 12 m/min e su esso gli operatori eseguono la selezione ad occhio nudo (figura 9.49.).



*Fig.9.49. Nella Zona Cernita avviene la selezione manuale*

Colore e tipologia strutturali del nastro in scorrimento devono creare nella Zona Cernita un minimo contrasto cromatico sufficiente a mettere in evidenza i corpi da scartare (corpi estranei e, più frequentemente, foglie deteriorate e non conformi), ma un'uniformità tale da consentire all'occhio di selezionare per tutta la durata del turno senza subire un eccessivo affaticamento.

Nel caso analizzato si tratta di valutare tipologie e colori di tappeti sui quali passano le foglie cotte di spinacio. Gli operatori al nastro separano dal prodotto i corpi estranei, che, come visto in precedenza, possono essere di vario genere.

L'analisi condotta ha portato a due importanti considerazioni .

- a. *riguarda la tipologia dei tappeti*
- b. *riguarda il prodotto da selezionare*

#### *a) Tipologia dei nastri*

La superficie liscia ha un contenuto di alte frequenze nettamente inferiore a quelle dei tappeti a superficie rugosa (assimilabile alla modulare). La seconda, quindi, crea un maggiore affaticamento visivo non solo all'osservazione, ma particolarmente durante la fase di selezione, in cui l'occhio deve svolgere un lavoro di per sé molto più duro. Si può concludere che i tappeti lisci sono più riposanti di quelli modulari.

#### *b) Prodotto da selezionare*

Durante la scottatura la foglia dello spinacio va incontro alle seguenti modifiche

- il suo colore si scurisce avvicinandosi sia ai colori generalmente scuri dei corpi estranei (di natura vegetale, della categoria insetti e metalli) sia al colore scuro delle foglie deteriorate o marce aumentando in questo modo la difficoltà della loro individuazione e selezione. Inoltre, anche una foglia estranea dopo la scottatura risulta più scura ed il suo colore si avvicina di più a quello dello spinacio cotto.
- la sua struttura si modifica in modo considerevole, il contorno non è più visibile e le foglie si ammassano l'una sull'altra: diventa difficile la distinzione tra foglie conformi e non e, tra e sotto le foglie ammassate, è più difficile individuare un corpo estraneo.

I fatti sopra citati incrementano la difficoltà di operare una cernita corretta.

#### ***Confronto tra i risultati strumentali ed i risultati del test percettivo***

Questo si realizza graficamente mettendo a confronto le differenze cromatiche  $\Delta E$  ed i grafici ottenuti dall'elaborazione dei dati del test percettivo.

I grafici ottenuti dal confronto vengono di seguito analizzati.

## a. TAPPETI CHIUSI

### a.1. MOSCA

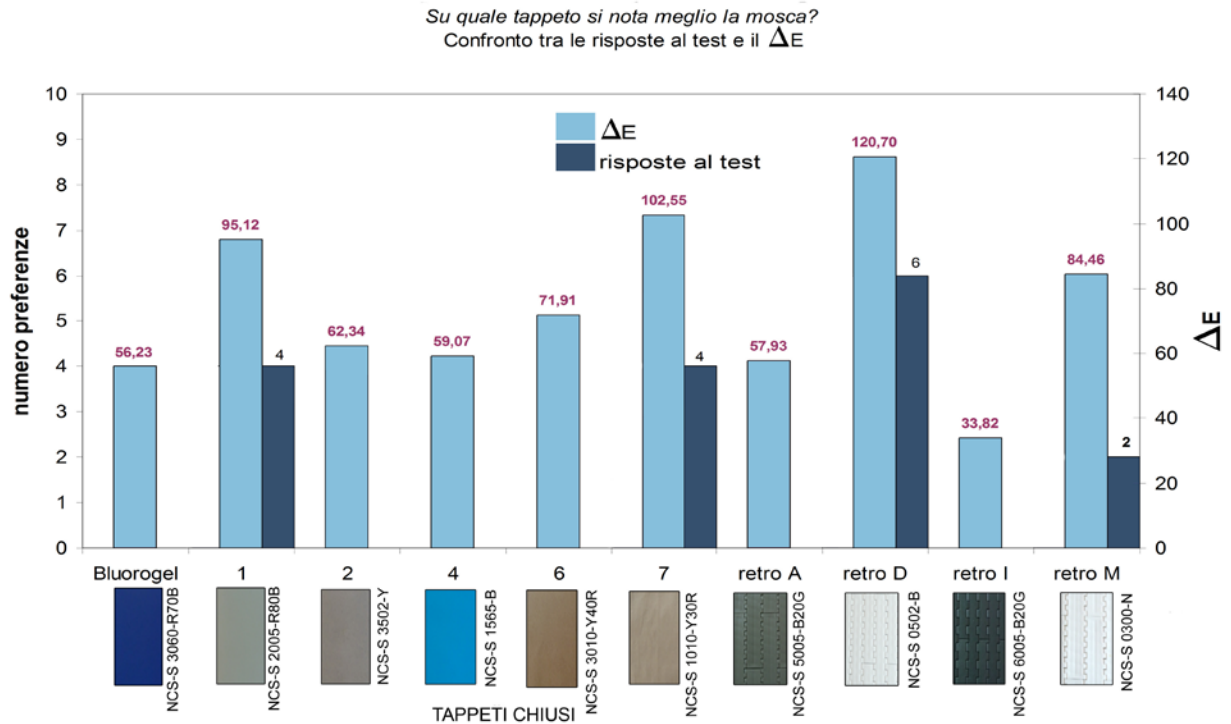


Fig.9.50. Elaborazione grafica del confronto tra i risultati del  $\Delta E$  e il test percettivo mosca/tappeti chiusi

Nel grafico precedente vengono presi in esame solo i nastri flat top e si analizza il contrasto colorimetrico (azzurro) e percettivo (blu) tra lo sfondo (tappeto) e la mosca (corpo estraneo).

Si evidenzia che:

- Le risposte al test confermano che sui campioni D, 7 e 1 la mosca si vede meglio, come confermato anche dalle misure colorimetriche. In fase di classifica, si evidenzia come il campione D mostri un  $\Delta E$  assai elevato e quindi è preferibile il campione 1 (o al più il 7) che mostrano  $\Delta E$  inferiori e quindi sono visivamente meno stancanti per l'occhio.
- Merita considerazione il fatto che il tappeto in uso presso Orogel (campione Bluorogel) non è votato da nessuno. Si mette in evidenza che tale tappeto non è quello in dotazione nella zona cernita, ma è tuttavia un tappeto che viene usato in tutte le altre fasi di lavorazione e sul quale l'operatore deve comunque fare un controllo visivo.



Fig. 9.51. Il campione 1 grigio (a destra) è risultato più rilassante del campione Bluorogel (sinistra)

## a.2. FOGLIA FRESCA SPINACIO

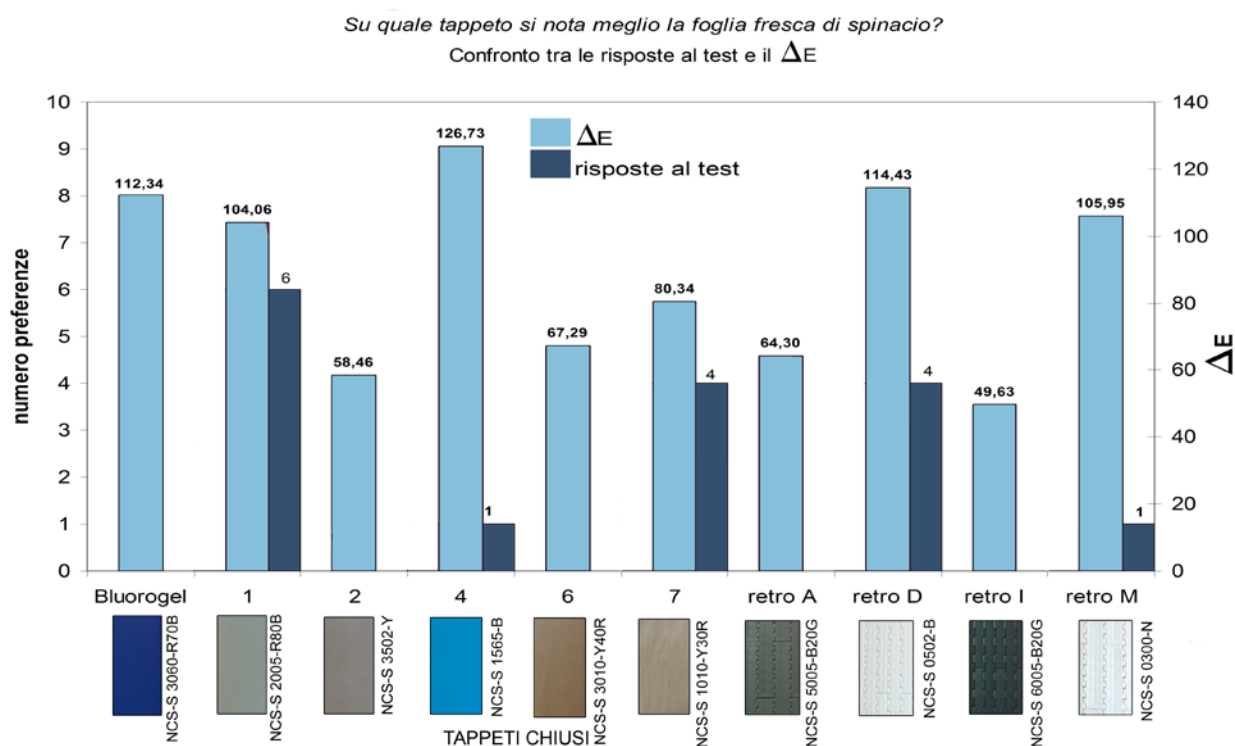


Fig. 9.52. Elaborazione grafica del confronto tra i risultati del  $\Delta E$  e il test percettivo foglia fresca/ tappeti chiusi

Anche nel caso analizzato si osserva che:

- Ancora i campioni D, 7 ed 1 risultano essere i migliori sia in funzione delle valutazioni colorimetriche che percettive. Stavolta tra i tre il migliore risulta essere il campione 1.
- Anche in questo caso valgono le stesse considerazioni di cui sopra per il campione Bluorogel: nessun voto.

### a.3. FOGLIA COTTA SPINACIO

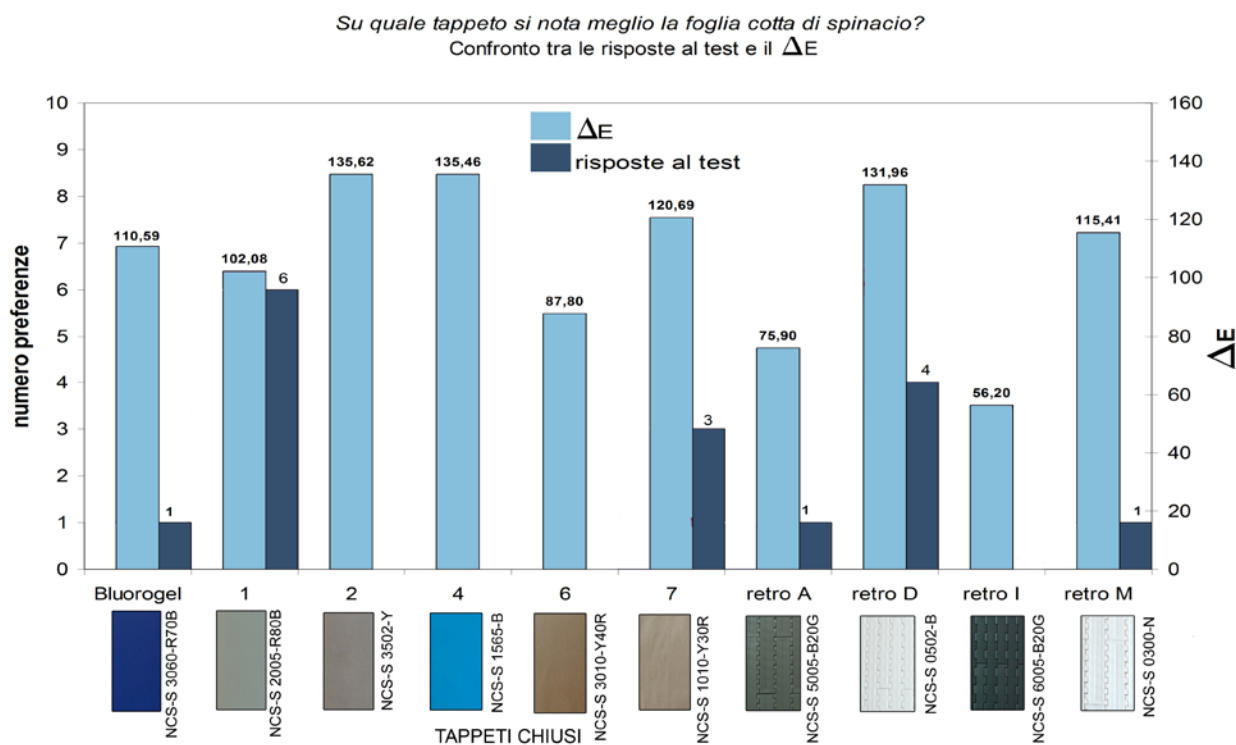


Fig. 9.53. Elaborazione grafica del confronto tra i risultati del  $\Delta E$  e il test percettivo foglia cotta/ tappeti chiusi

Dal grafico si evidenzia che:

- I campioni 1, D e 7 risultano nuovamente i “migliori”. Dal punto di vista dello stress visivo si evidenzia come il campione 1, che ha un  $\Delta E$  valido ma non eccessivo, con un ottimo risultato percettivo sia nettamente il migliore.
- Stavolta si nota un voto su sedici per il campione Bluorogel, dato comunque poco significativo. Inoltre il  $\Delta E$  del campione Bluorogel è molto elevato e quindi è un nastro che procura stress all’occhio.

b. TAPPETI MODULARI  
b.1. MOSCA

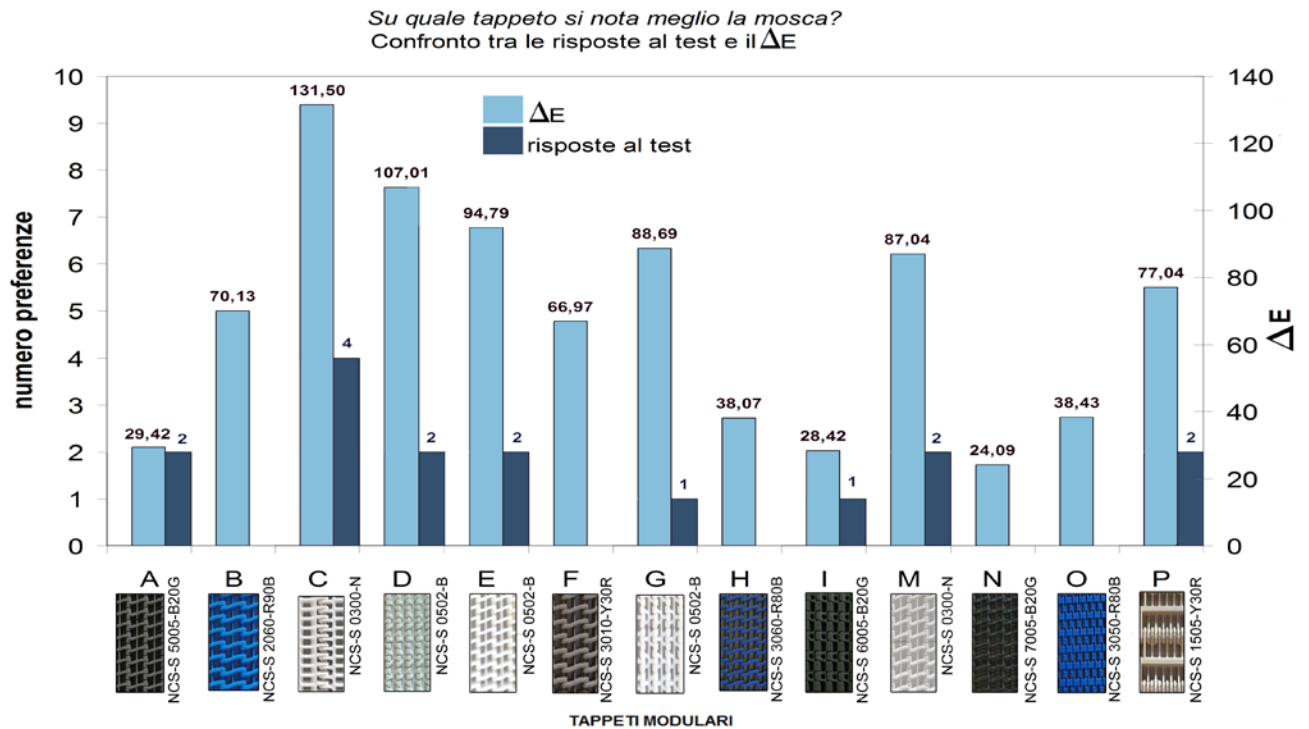


Fig. 9.54. Elaborazione grafica del confronto tra i risultati del  $\Delta E$  e il test percettivo mosca/ tappeti modulari

Si evidenzia quanto segue:

- Il campione C (nastro in uso da Orogel in zona cernita) è quello che sia a livello colorimetrico che percettivo conferma la miglior visibilità del corpo estraneo scuro. Resta da segnalare che però un nastro con un tale  $\Delta E$  è affaticante per tempi di esposizione lunghi. Sarebbe pertanto da prendere in considerazione il campione P, che media una discreta risposta percettiva e un  $\Delta E$  nettamente inferiore a quello del campione C, ma pur sempre valido.

## b.2 FOGLIA FRESCA SPINACIO

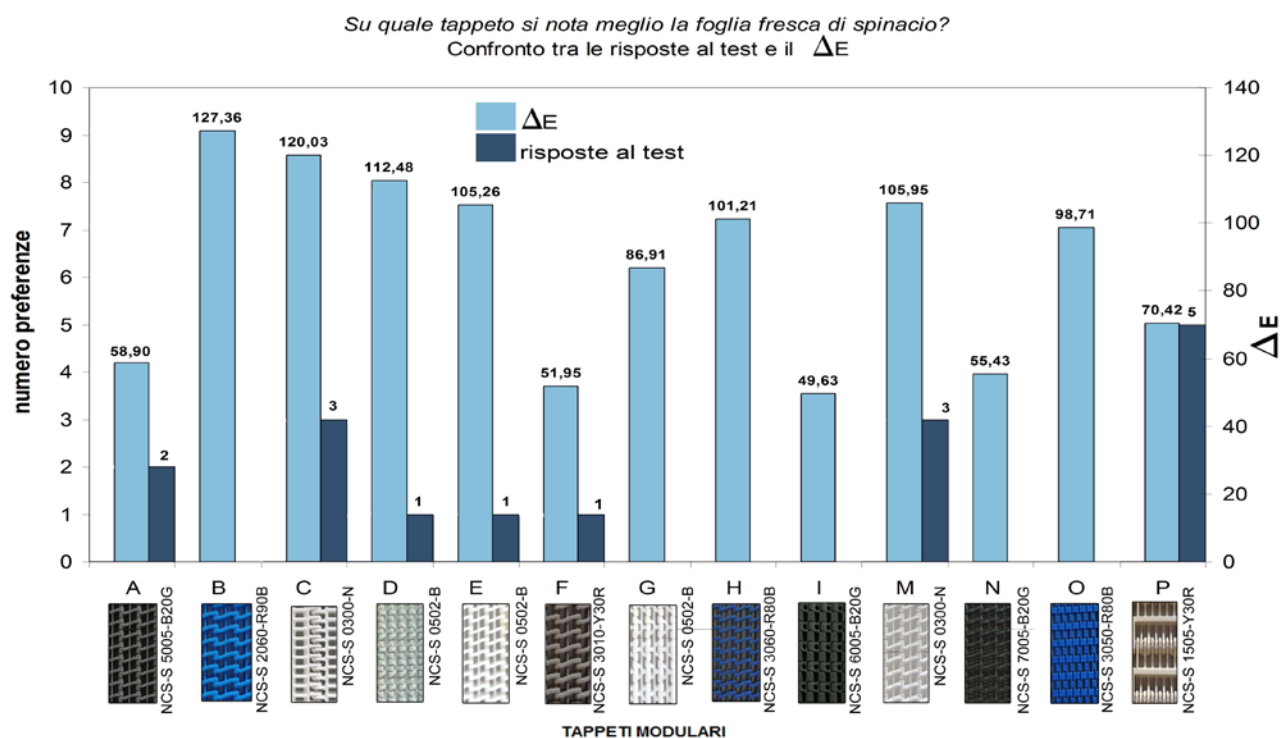


Fig. 9.55. Elaborazione grafica del confronto tra i risultati del  $\Delta E$  e il test percettivo foglia fresca/ tappeti modulari

Analizzando il grafico possiamo dedurre che:

- Per le considerazioni già fatte, il campione P è miglior compromesso tra un buon  $\Delta E$  e un'ottima risposta percettiva
- Nuovamente i campioni blu (B e O) risultano i peggiori dal punto di vista percettivo e hanno un  $\Delta E$  molto elevato, quindi sono campioni affaticanti
- Preme mettere in evidenza che l'Azienda aveva intenzione di testare al posto del nastro campione C in uso, il campione O che, sia a livello colorimetrico che percettivo, dà risultati negativi.



### b.3 FOGLIA COTTA SPINACIO

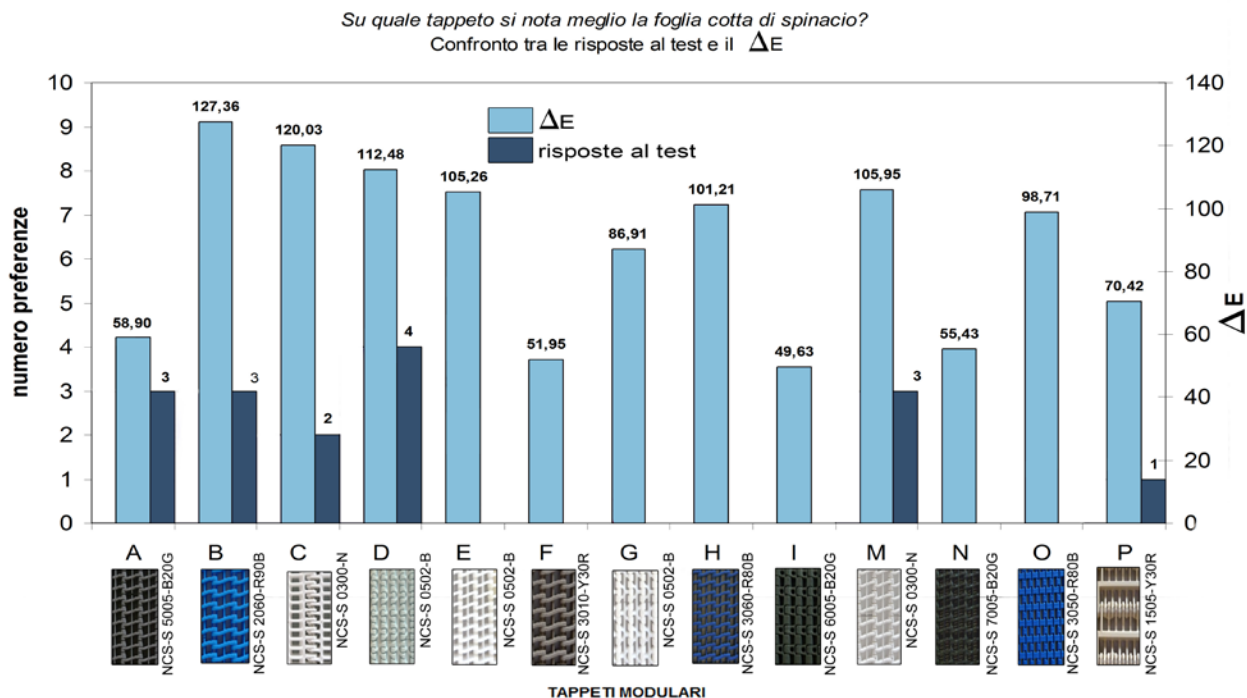


Fig. 9.56. Elaborazione grafica del confronto tra i risultati del  $\Delta E$  e il test percettivo foglia cotta/ tappeti modulari

Analizzando il grafico qui sopra possiamo concludere che:

- A livello di risposta percettiva i campioni da prendere in esame sono solo il D, M, B ed A. Valutandone però il relativo  $\Delta E$ , si scartano quelli con il valore più alto e diventa significativo il campione A. Tale risultato evidenzia una controtendenza in quanto finora sono risultati migliori i campioni di maggiore chiarezza. Questo però va valutato considerando che stiamo valutando una foglia cotta e quindi più scura. Inoltre entrambi, nastro A e foglia cotta contengono la stessa percentuale di nero (50%) come si vede dalle rispettive notazioni NCS (cotto NCS S 5040-G10Y e campione A, NCS S 5005-B20G).



### **9.7. Conclusioni**

I risultati conseguiti in questo studio mettono in evidenza come i requisiti BRC/IFS possano essere riconsiderati. Infatti il trend che esce da quest'analisi è che il blu per motivi colorimetrici, percettivi e ottico-fisiologici presenta qualche controindicazione, specie se così saturo.

Per i nastri trasportatori sarebbe più indicata la scelta di colori meno saturi, più chiari e più neutri, come i grigi freddi o i grigi caldi (questi ultimi chiamati usualmente beige o tortora). Da evitare è anche il bianco in quanto estremamente in contrasto con qualsiasi altro colore valutato in questo studio e quindi, per periodi lunghi, troppo affaticante.

Anche la giacca, almeno sul davanti, e i guanti blu dovrebbero essere desaturati o sostituiti con tinte neutre.

A seguito delle considerazioni fatte in precedenza sulla tipologia dei tappeti e sulle foglie dello spinacio, prima e dopo cottura, risulta più performante e allo stesso tempo meno affaticante per l'occhio, la selezione operata su foglie allo stato fresco e su un nastro flat top.

I limiti del test percettivo eseguito sono i seguenti:

- Sia il  $\Delta E$  che il test percettivo sono stati effettuati su campioni di nastri nuovi. Dopo il loro uso, specialmente i flat top, il loro colore si modifica perdendo uniformità, per il calcare dell'acqua, i detergenti usati, il succo dello spinacio e l'usura meccanica. Il colore si "stinge", diventa più grigio e più chiaro, ma in modo non uniforme.
- Condizioni al contorno in sede di test diverse da quelle reali: i nastri in loco sono in movimento e hanno dimensioni considerevolmente maggiori di quelle usate per i test di dimensioni di 23cm x 16 cm; 32 cm x 32cm.
- Durante i test i campioni di diverso colore da valutare erano messi l'uno vicino all'altro pertanto ogni campione era in un contesto cromatico che ne condizionava la risposta percettiva
- Il limitato numero di partecipanti al test (16, campione non molto significativo)

Pertanto il limite di questo studio è legato proprio alle condizioni del test percettivo diverse da quelle nella Zona Cernita.

### **9.8. Proposte**

Il mio suggerimento, che rappresenta il naturale approfondimento di quanto scoperto sinora, è quello di proporre all'Azienda di effettuare un ulteriore test in loco con le condizioni al contorno reali (nastri in movimento alla stessa velocità di avanzamento, dimensioni reali dei nastri – larghezza  $l=1045\text{mm}$ , in Zona Cernita) e su un numero significativo di persone.

Sarebbe interessante anche, in tale contesto, sui nastri risultati migliori dalle mie valutazioni, inserire una cernitrice ottica a valle della selezione manuale per valutarne le performance e confrontarle tra loro.

Questo dovrebbe essere fatto in diversi tempi, con differenti operatori: dalla valutazione della media dei risultati sarà possibile comprendere e analizzare quanto il colore del nastro incida sulla performance della selezione manuale e definire pertanto il nastro migliore sia per la Zona Cernita sia per le altre fasi del ciclo di lavorazione *Spinaci Cubello Orogel* in cui lo spinacio viene trasportato su nastri che richiedono, in tutti i casi, un controllo visivo del lavoratore, seppure superficiale, del prodotto e che rientrano comunque nel suo campo visivo.

## 10. Conclusione

Come si evince dalle premesse e dai risultati conseguiti nel presente lavoro il settore agro-alimentare risulta dal punto di vista cromatico ancorato a schemi rigidi, non supportati da teorie scientifiche e da valutazioni colorimetriche.

La fotografia dei siti agro-alimentari da me visitati ricorda la situazione delle aziende ospedaliere di cinquanta anni orsono, dove le usanze tramandate negli anni abbinata ad un'insufficiente conoscenza del fenomeno cromatico imponevano pareti e camici bianchi. Negli anni '60 l'introduzione di camici verdi ha rivoluzionato l'ambiente delle sale operatorie favorendo la concentrazione dei medici chirurghi durante gli interventi. L'inserimento nei capi indossati (camici, uniformi e teli) della *nuance* verde, complementare a quella rossa del sangue arterioso, fu una scelta cromatica strategica: infatti trattasi di colori complementari. L'inserimento del verde nell'ambiente circostante, impedisce all'occhio del medico, concentrato su una ferita rossa, l'elaborazione della post-immagine garantendogli minor affaticamento visivo e maggiore concentrazione.

Dal colore dei camici, modificati per motivi colorimetrici, l'intervento cromatico si è esteso quindi ai colori ambientali (pareti, pavimento, soffitto, arredi, strutture, etc.) scelti in modo mirato per favorire non solo il comfort visivo degli operatori-medici, ma anche il benessere emozionale dei fruitori-degenti, sfruttando anche la funzione segnaletica ed il linguaggio dei codici cromatici, specie nelle zone di passaggio.

Stesso principio dovrebbe essere adottato per i siti del settore agro-alimentare, dove la scelta cromatica ambientale, non deve avere come unici obiettivi quelli di rendere visibili i depositi indesiderati di sudiciume, colonie di muffe o batteriche e mantenere bassi i costi di illuminazione usando tinte con elevata riflettanza, come è stato fatto sinora.

Il colore deve assumere i ruoli che gli spettano: quali strumento di vista e di comfort emozionale ed inoltre anche quello di codice segnaletico.

Come si è visto la visione di un oggetto colorato dipende difatti fortemente dalla tinta del suo sfondo e anche dal suo contesto cromatico, specialmente durante quelle fasi lavorative, come lavorazione e cernita manuali, in cui l'occhio è sottoposto a stress per una continua concentrazione sul prodotto colorato lavorato.

Gli elementi sui quali è opportuno valutare un intervento migliorativo sono quelli presi in esame in questo lavoro, ovvero, come nei due "casi statici", il colore ambientale (pareti, plafoni e pavimentazioni), i colori delle uniformi e degli accessori (guanti, uniformi, cuffie, etc.) ed il colore dei piani di lavoro sempre in funzione della tinta del prodotto lavorato. Nei "casi dinamici", dove i piani di lavorazione ed appoggio sono mobili e come tali di per sé già faticosi per l'occhio, la colorazione del nastro trasportatore (strettamente correlata al colore del prodotto trasportato) e la sua tipologia /struttura sono fondamentali per il benessere dell'operatore influenzando anche sulla sua efficienza, sicurezza e qualità del prodotto finale.

Da analizzare è sempre il contesto cromatico che rientra nel campo visivo del lavoratore. Pertanto nei grandi stabilimenti, come lo Stabilimento Orogel 1, o in quei siti produttivi dove pareti e soffitto sono talmente alti e lontani da non influenzare la vista del personale,

l'intervento cromatico va indirizzato alle strutture impiantistiche e agli elementi che rientrano nel suo campo visivo, come gli stessi impianti e macchinari.

Lo studio del colore è strettamente correlato a quello della luce e pertanto ogni progettazione cromatica deve tenerne conto avendo come obiettivo anche il miglioramento della resa cromatica dei corpi illuminanti ed il mantenimento dei costi di esercizio.

Si evidenzia come l'uso del colore debba essere usato sempre in modo strategico in funzione dell'obiettivo finale, così come va sempre dosato in modo adeguato per evitare qualsiasi tipo di inquinamento cromatico, sia la *White e Monochromatic* sia la *Colour Pollution*.

Questa indagine sul colore rappresenta solo un primo passo per l'introduzione strategica del colore nei siti produttivi alimentari e va pertanto approfondita con altri successivi studi e sperimentazioni che sono il suo naturale proseguimento.

## 11. Bibliografia

- Arnheim R., *Arte e percezione visiva*, Feltrinelli, 1971
- Berson D.M., Dunn F.A. & Takao M., *Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock*, *Science* 295, febbraio 2002
- Birren F., *Light and Color Environment*, 2<sup>nd</sup> r. ed., Pennsylvania, 1988
- Bonaiuto G., *Psicologia Generale*, dispense Facoltà di Psicologia, Università La Sapienza, Roma
- Bonomo M., *Comunicazione personale*, Corso di Illuminotecnica, Politecnico di Milano, aprile, maggio, giugno 2010
- Bonomo M., *Illuminazione d'interni*, Maggioli Editore, 2008
- Boyce P., Beckstead J.W., Eklund N.H., Strobel R.W., Rea M.S., *Lighting the graveyard shift: the influence of a daylight-simulating skylight on the task performance and mood of nightshift workers*, *Light Res. Technol.* 29 (3): 105-134, 1997
- Brebbia M., *Comunicazione personale*, Sopralluogo Sede Bonduelle, Lallio, 2010
- Caiazza M., *Le ombre colorate*, Congresso "Colore è vita", seconda edizione, Genova, 9. novembre 2010
- Calzati A., Intralox, responsabile Italia Food&Beverage, *Comunicazione personale*, giugno, luglio, agosto 2011
- Chevreul M. E., *De la loi du contraste simultané des couleurs et de l'assortiment des object colorés*, Paris, 1839
- Da Pos O., *Aspetti psicologici della luce calda e fredda*, Congresso "Colore è vita", seconda edizione, Genova, 9. novembre 2010
- Da Pos O., *Comunicazione personale*, Quinta Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, CPPR, Palermo, 7 -9 ottobre 2009
- Davis R. G., Ginthener D.N., *Correlated Color Temperature, Illuminance Level, and the Kruithof Curve*, *Journal of the illuminating Engineering Society*, 19 (1): 27-38- 1990
- De Grandis L., *Teoria ed uso del colore*, Mondadori Editore, Milano, 1994
- Ertel H., *Kinder Farbstudien*, '78, München : Gesellschaft für Rationale Psychologie, 1978
- Figini R., *Comunicazione personale*, Seminario "Il Colore negli Alimenti" di Konica Minolta, Stazione Sperimentale per l'Industria delle Conserve Alimentari, Parma, 21 giugno 2011
- Foote K., *Color in Public Spaces*, Chicago, 1983
- Frieling H., *Mensch und Farbe*, Heyne Verlag, 1973
- Frieling H., *Farbe im Raum*, München, 1979
- Frieling H., *Farbe im Raum. Angewandte Farbenpsychologie*, Callwey Georg D.W. GmbH, 1986
- Frieling H., *Der Farbenspiegel: Ein Schnelltest für Statistik und Charakterskizze mit den Farben des Frieling-Tests*, Muster-Schmidt, 1995
- Friguerio M.G., Rea M.S., Boyce P., White R., Kolberg K., *The effects of bright light on day and night shift nurses, performance and well-being in the NICU*, *Neonatal Intense Care*, 14 (1): 29-32, 2001
- Gerard R.M., *Different effects of Colored Lights on Psychophysiological Functions*, PhD. diss. University of California, Los Angeles, 1958
- Goethe J.W., *Zur Farbenlehre*, 1810
- Goethe J.W., *Die Tafeln zur Farbenlehre und deren Erklärungen*, Insel Verlag, 1994
- Grandjean E., *Il lavoro a misura d'uomo, trattato di ergonomia*, Edizioni di Comunità, Milano, 1986
- Gugliermetti F., Bisegna F., Barbalace M., *Luce "calda" e luce "fredda": influenza delle componenti spettrali rossa e blu sul sistema circadiano e sulla psiche umani*, Atti della Sesta Conferenza Nazionale del Colore, Lecce, 16-17 settembre 2010
- Hennig W., *Die Larvenformen der Dipteren*, 3 Bände. Akademie-Verlag, Berlin, 1948–1952

Hennig W., *Theorie und Grundzüge phylogenetischen Systematik*, Deutscher Zentralverlag, Berlin, 1950

Herbst J. F. W., Jablonsky C. G., *Naturgeschichte der in-und ausländischen Insekten*, 1800

Hering E., *Zur Lehre vom Lichtsinne, III. Über simultane Lichtinduction und über successiven Contrast*, Sitz. Ber. d. Akad. d. Wiss., Math.-Nat. Kl. Wien 68 Abt.3, Wien, 1874

Hering E., *Zur Lehre vom Lichtsinne, V. Grundzüge einer Theorie des Lichtsinnes*, Sitz. Ber. d. Akad. d. Wiss., Math.-Nat. Kl. Wien 69 Abt.3, Wien, 1874

Kruithof A. A., *Tubular Luminescence Lamps for General Illumination*, Philips Technical Review 6 (3): 65–96, 1941

Itten J., *Arte del Colore*, Il Saggiatore, Milano, 1965

Lack L., Wright H., *The effect of evening bright light in delaying circadian rhythms and lengthening the sleep of early morning awakening insomniacs*, Sleep 16 (5): 436- 443, 1993

Levinson H., *Ernährungs - und Stoffwechselphysiologie der Musca domestica*, 1959

Lewy A.J., Wehr T.A., Goodwin F.K., Newsome D.A., Markey S.P., *Light suppress Melatoni secretion in humans*, Science 210 (4475): 11267-1269, 1980

Lewy A.J., Kern H.A, Rosenthal N.E., Wehr T.A., *Bright artificial light treatment of a manic-depressive patient with seasonal mood cycle*, Am J Psychiatry 139 (11): 1496-1498, 1982

London, W.P., *Full-spectrum classroom light and sickness in pupils*, Lancet, Nov 21, 1987

Lüscher M., *Il test dei colori*, Astrolabio, Roma, 1976

Luzzatto L., Pompas R., *Il linguaggio del colore*, Il Castello, Milano, 1980

Luzzatto L., Pompas R., *Il colore persuasivo*, Il Castello, Milano, 2001

Luzzatto L., Pompas R., *Colors&Colors*, Il Castello, Milano, 2009

Luzzatto L., *Comunicazione personale*, Quarta Conferenza Nazionale del gruppo del Colore, Como, 19 settembre 2009

Mahnke, F.H. *Color and light in man made environments*, New York, 1987

Mahnke, F. H. *Il Colore nella progettazione*, Utet, Torino, 1998

Marchesi, F. *La luce che cura*, Tecniche Nuove, Milano, 2002

Meerwein G., Rodeck B., Mahnke F.H., *Farbe - Kommunikation im Raum*, Birkhauser Verlag, Basel, 2007

Messa, M., *Comunicazione personale*, Sede Konica Minolta Italia, Milano, settembre 2011

Mondella L., *Comunicazione personale*, Sopralluogo Sede Florette, Casaleggio, 2010

Monk T. H., Buysse D.J., Reynolds C.F., Berga S.L., Jarret D. B, Kupfer D.J., *Circadian rhythms in human performance and mood under constant conditions*, J. Sleep Res 6(1):9-18, 1997

Munsell A.H., *A Color Notation*, Boston, 1905

Munsell A. H., *The Atlas of the Munsell Color System*, Boston, 1915

Newton I., *Opticks*, London, 1704

NN. *Precise Color Communication*, Konica Minolta, *documentazione tecnica*, 2006

Oleari C., *Misurare il colore*, Hoepli, 1998

Ostwald W., *Die Farbenfibel*, Leipzig, 1916

Ott J.N., *Color and Light. Their effects on plants, animal and people*, Journal of Biosocial Research 7, part I, 1985

Pastoureau M., *Blu, storia di un colore*, Ponte delle Grazie, 2002

Pelanda R., *Comunicazione personale*, Sede Konica Minolta Italia, luglio, agosto, settembre 2011

Pierfederici O., *Illuminazione e colore negli ambienti di lavoro*, Maggioli Editore

Popp F.A., Li K.H., Gu Q., *Recent Advances in BioPhoton Research*, World Scientific, 1992

Porter T., *Architectural Color*, New York, 1982

Rizzi A., Moretti A., Gadia D., Marini D., *L'informazione spettrale e il colore percepito*", Congressino 2006, Università di Trieste, 16-17 giugno 2006, Medana, Slovenia

Rizzi A., Sole A., Nussbaum P., *Color and lightness perception under different illuminations*, Gjovik Color Imaging Symposium 2009, Gjovik (Norway), 19 Giugno 2009.

Rizzi A., *Object Size, Spatial-Frequency Content and Retinal Contrast*, in IS&T/SPIE Electronic Imaging 2010, San Jose (California – USA), 17-21 Gennaio 2010

Rizzi, A., *Comunicazione personale*, Dipartimento di Informatica per la Comunicazione, Università degli Studi di Milano, luglio, agosto ,settembre 2011

Rizzi A., McCann J. J., *On the behavior of spatial models of color*, IS&T/SPIE Electronic Imaging 2007, S.Josè (California - USA), 28 gennaio - 1 febbraio 2007

Rossi M., Siniscalco, A. *On light and colour effects for interior lighting Design, Theory and Applications*, Atti della Seconda Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore Università degli Studi di Milano Bicocca, Milano, 20-22 settembre 2006

Rossi M., *Comunicazione personale*, Tirocinio presso Laboratorio Luce, Politecnico di Milano,maggio-luglio 2011

Rossi M., *Design della Luce, fondamenti ed esperienze nel progetto della luce per gli esseri umani*, Maggioli Editore, 2008

Rossi M., Musante F., Siniscalco A., *Apparecchi di illuminazione con luce colorata e loro misura*, Quinta Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, CPPR, Palermo, 7 -9 ottobre 2009

Salvoni O., *Comunicazione personale*, Studio Valan, Milano, agosto 2011

Siniscalco A, *Comunicazione personale*, Tirocinio presso Laboratorio Luce, Politecnico di Milano,maggio-luglio 2011

Stecca R., *Comunicazione personale*, Studio Valan, Milano, luglio 2011

Suess L., *Comunicazione personale*, DiPSA, Università degli Studi di Milano, 2008

Tornquist J., *Colore e Luce*, Ikon Editrice, Milano, 1999

Valan F., *Il colore progettato*, Rivista Colore N° 41, Istituto del Colore, Milano, gennaio/giugno 2003

Valan F., *Armonie cromatiche culturali. Un nuovo approccio alla progettazione del colore: l'Istituto C. Cattaneo Milano*, Quinta Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, Palermo, 7- 9 ottobre 2009

Valan F., *Comunicazione personale*, Quinta Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, Palermo, 7- 9 ottobre 2009

Valan F., *Evoluzione del colore del design dagli anni '50 ad oggi*, Sesta Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, Università degli Studi del Salento, Lecce, 16-17 settembre 2010

Valan F., *Il colore nelle architetture per bambini*, Congresso "Colore è vita", seconda edizione, Genova, 9. novembre 2010

Valan F., *Linee Guida per Piano Colore della Città di Milano*, 2010

Van Bommel W., *Visual, biological and emotional aspects of lighting. Recent new findings and their meaning for lighting practice*, Light&Engineering 13 (3), 6-9, 2005

Wohlfarth H., *Psychological Evaluation of Experiments to assert the effect of color- stimuli upon the Autonomous Nervous System*, Experta Medica, Neurology and Psychiatry 2, no. 4, 1958

### **Siti internet**

<http://www.fis.unipr.it>  
<http://www.inoa.it>  
<http://www.sussidiario.it>  
<http://www.colordesign.it>  
<http://www.colorsystem.com>  
<http://www.boscarol.com>  
<http://www.istitutocolore.it>  
<http://www.unaproa.com>  
[http://it.wikipedia.org/wiki/Pagina\\_principale](http://it.wikipedia.org/wiki/Pagina_principale)

## 12. Allegati

### ***Allegato 1 - Questionario Solfarm 1***

Consegnato il 28 aprile 09

## QUESTIONARIO

Questo questionario è uno strumento di indagine del Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università degli Studi di Milano.

Attraverso le sue risposte è possibile avere dei dati che possono aiutare a dare una corretta valutazione delle condizioni di benessere del posto di lavoro.

Il questionario è anonimo.

Le chiediamo di rispondere seguendo l'ordine delle domande e là, dove sono indicate più risposte, di indicare con una **X** quanto ciascuna affermazione descrive, dal Suo punto di vista, al meglio la situazione attuale del posto di lavoro.

Non esistono risposte né giuste né sbagliate: la migliore è quella che più si avvicina alla sua esperienza.



### **Regime di orario**

Il Suo turno di quante ore è? \_\_\_\_\_

A che ora inizia? \_\_\_\_\_

Predilige un turno piuttosto che un altro? **SI** **NO**

Se **sì**, quale? \_\_\_\_\_ e  
perchè? \_\_\_\_\_

Tempo impiegato per recarsi al lavoro \_\_\_\_\_

### **Caratteristiche dell'ambiente di lavoro**

**insuff** **mediocre** **sufficiente** **buono**

#### **Come valuta il comfort dell'ambiente in cui lavora**

Pulizia

Illuminazione

Temperatura

Silenziosità

Condizioni dell'edificio

Gradevolezza ambienti e arredi

Spazio disponibile per persona

#### **Con quale frequenza si verificano le situazioni sotto descritte**

**Mai** **raramente** **a volte** **spesso**

I compiti di lavoro richiedono fatica eccessiva

Le operazioni manuali richiedono eccessiva concentrazione

Gli spostamenti da una postazione di lavoro all'altra richiede attenzione

Indicate l'operazione/i che per voi richiede troppa attenzione in termini decrescenti

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

### **La sicurezza**

Come valuta il livello di sicurezza di ciascuno di questi ambiti

**insuff** **mediocre** **sufficiente** **buono**

Impianti elettrici

Illuminazione

Rumorosità

Temperatura

### **Caratteristiche del proprio lavoro/indicatori di stress**

In che misura le caratteristiche di seguito elencate fanno parte dei compiti da lei svolti?

**per nulla** **poco** **abbastanza** **molto**

Fatica fisica

Fatica mentale

Fatica visiva

Monotonia e ripetitività di movimenti

Sensazioni di nausea

Sensazioni di freddo

Sovraccarico emotivo

## **Il Benessere psicofisico**

Negli ultimi 6 mesi le è capitato di avvertire

	<b>mai</b>	<b>raramente</b>	<b>a volte</b>	<b>spesso</b>
Mal di testa				
Difficoltà di concentrazione				
Nausea				
Nervosismo, ansia , irrequietezza				
Stanchezza per eccessivo affaticamento				
Stanchezza per mancanza di sonno				
Dolori muscolari				
Difficoltà ad addormentarsi, insonnia				
Senso di depressione				
Sensazione di gusto in bocca				

In che percentuale attribuisce i disturbi segnati alla domanda qui sopra al lavoro che svolge: \_\_\_\_\_%

## **Illuminazione**

	<b>insuff</b>	<b>mediocre</b>	<b>sufficiente</b>	<b>buono</b>
Come giudica l'illuminazione dell'ambiente in generale				
Come giudica l'illuminazione delle singole postazioni di lavoro				
		<b>SI</b>		<b>NO</b>

Esistono zone di ombra?

Esistono zone non illuminate a sufficienza?

Il personale crea ombre e disturba la visibilità?

Ha dei suggerimenti per migliorare l'illuminazione?

Se sì quali?

\_\_\_\_\_

## **Il Colore nell'ambiente**

	<b>insuff</b>	<b>mediocre</b>	<b>sufficiente</b>	<b>buono</b>
Come giudica il colore dell'ambiente in generale				
Come giudica i colori delle singole postazioni di lavoro				
Sente la necessità di introdurre colore nell'ambiente?				
		<b>SI</b>		<b>NO</b>

Se sì dove?

(Indichi la/le zone)

\_\_\_\_\_

Ha dei suggerimenti per migliorare l'ambiente dal punto di vista cromatico?

\_\_\_\_\_

Cosa si aspetta dall'inserimento di un colore ?

Dare un voto da 1 a 3 alle domande qui sotto

**1**

**2**

**3**

Che dia calore e vitalità

Che indichi meglio i percorsi, le postazioni e funga da segnale

Che tolga la monotonia

Può indicare un colore che per lei potrebbe essere adatto all'ambiente di lavoro?

Colore: \_\_\_\_\_

## **QUESTIONARIO**

Questo questionario è uno strumento di indagine del Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università degli Studi di Milano.

Attraverso le sue risposte è possibile avere dei dati che possono aiutare a dare una corretta valutazione delle condizioni di benessere del posto di lavoro.

Il questionario è anonimo.

Le chiediamo di rispondere seguendo l'ordine delle domande e là, dove sono indicate più risposte, di indicare con una **X** quanto ciascuna affermazione descrive, dal Suo punto di vista, al meglio la situazione attuale del posto di lavoro.

Non esistono risposte né giuste né sbagliate: la migliore è quella che più si avvicina alla sua esperienza.

### **Regime di orario**

Il Suo turno di quante ore è? \_\_\_\_\_

A che ora inizia? \_\_\_\_\_

Predilige un turno piuttosto che un altro?

**SI**

**NO**

Se sì, quale? \_\_\_\_\_  
perché? \_\_\_\_\_

Tempo impiegato per recarsi al lavoro \_\_\_\_\_

<b>Caratteristiche dell'ambiente di lavoro</b>	<b>insufficiente</b>	<b>mediocre</b>	<b>sufficiente</b>	<b>buono</b>
<b>Come valuta il comfort dell'ambiente in cui lavora</b>				
Pulizia				
Illuminazione				
Temperatura				
Silenziosità				
Condizioni dell'edificio				
Gradevolezza ambienti e arredi				
Spazio disponibile per persona				

### **Con quale frequenza si verificano le situazioni sotto descritte**

**mai      raramente      a volte      spesso**

I compiti di lavoro richiedono fatica eccessiva

Le operazioni manuali richiedono eccessiva concentrazione

Gli spostamenti da una postazione di lavoro all'altra richiede attenzione

Indicate l'operazione/i che per voi richiede troppa attenzione in termini decrescenti

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

### **La sicurezza**

Come valuta il livello di sicurezza di ciascuno di questi ambiti

	<b>insuff</b>	<b>mediocre</b>	<b>sufficiente</b>	<b>buono</b>
Impianti elettrici				
Illuminazione				
Rumorosità				
Temperatura				

### **Caratteristiche del proprio lavoro/indicatori di stress**

In che misura le caratteristiche di seguito elencate fanno parte dei compiti da lei svolti?

	<b>per nulla</b>	<b>poco</b>	<b>abbastanza</b>	<b>molto</b>
Fatica fisica				
Fatica mentale				
Fatica visiva				
Monotonia e ripetitività di movimenti				
Sensazioni di nausea				
Sensazioni di freddo				
Sovraccarico emotivo				

## Il Benessere psicofisico

Negli ultimi 6 mesi le è capitato di avvertire

mai                      raramente                      a volte                      spesso

Mal di testa  
 Difficoltà di concentrazione  
 Nausea  
 Nervosismo, ansia, irrequietezza  
 Stanchezza per eccessivo affaticamento  
 Stanchezza per mancanza di sonno  
 Dolori muscolari  
 Difficoltà ad addormentarsi, insonnia  
 Senso di depressione  
 Sensazione di gusto in bocca

In che percentuale attribuisce i disturbi segnati alla domanda qui sopra al lavoro che svolge: \_\_\_\_\_%

illuminazione	insufficiente	mediocre	sufficiente	buono
Come giudica l'illuminazione dell'ambiente in generale				
Come giudica l'illuminazione delle singole postazioni di lavoro				
	<b>SI</b>		<b>NO</b>	
Esistono zone di ombra?				
Esistono zone non illuminate a sufficienza?				
Il personale crea ombre e disturba la visibilità?				

Ha dei suggerimenti per migliorare l'illuminazione?  
 Se sì quali?

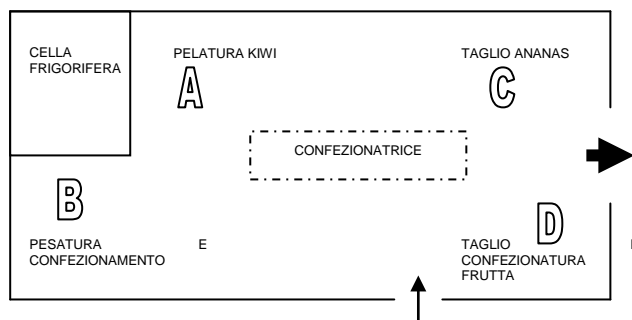
---



---

Il Colore nell'ambiente	insufficiente	mediocre	sufficiente	buono
Come giudica il colore dell'ambiente in generale?				
Come giudica i colori delle singole postazioni di lavoro				
	<b>SI</b>		<b>NO</b>	
Sente la necessità di introdurre colore nell'ambiente?				

Se sì dove?  
 (Indichi la/le zone con una croce)



Ha dei suggerimenti per migliorare l'ambiente dal punto di vista cromatico?

---



---

<b>Cosa si aspetta dall'inserimento di un colore ?</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Dare un voto da 1 a 3 alle domande qui sotto			
Che dia calore e vitalità			
Che indichi meglio i percorsi , le postazioni e funga da segnale			
Che tolga la monotonia			

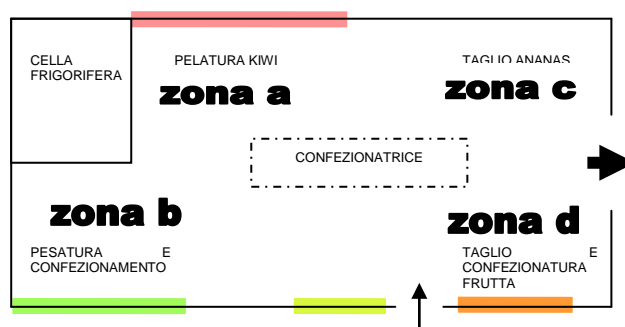
Può indicare un colore che per lei potrebbe essere adatto all'ambiente di lavoro?

Colore: \_\_\_\_\_

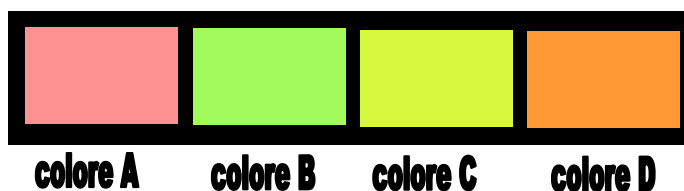
Qual è il colore che ama di più ?

Colore: \_\_\_\_\_

### Questionario sui colori inseriti nel sito produttivo



Quali tra questi colori (inseriti nel suo ambiente lavorativo) preferisce?

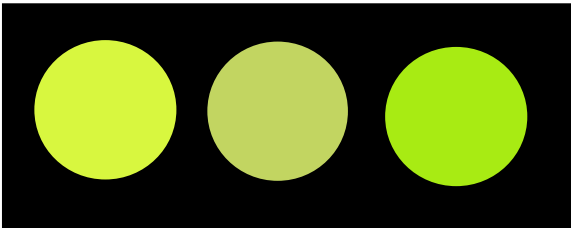
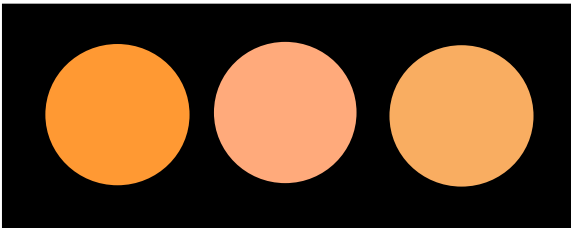
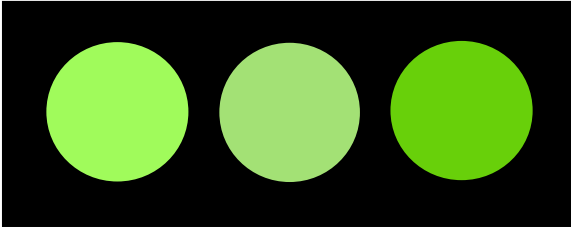
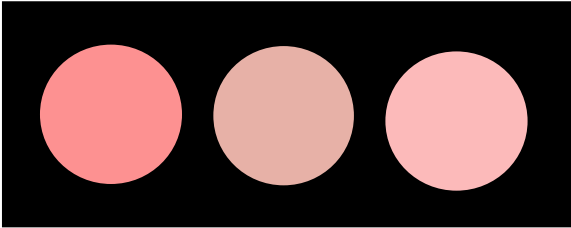


Colore: \_\_\_\_\_

### Dia dei voti a questi colori (da 0 a 10)

colore	Voto (0-10)	Cosa le fa venire in mente questo colore?

Dai un voto (1-10) ai seguenti colori scrivendocelo sopra



## QUESTIONARIO

Questo questionario è uno strumento di indagine del Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università degli Studi di Milano.

Attraverso le sue risposte è possibile avere dei dati che possono aiutare a dare una corretta valutazione delle condizioni di benessere del posto di lavoro.

Il questionario è anonimo.

Le chiediamo di rispondere seguendo l'ordine delle domande e là, dove sono indicate più risposte, di indicare con una **X** quanto ciascuna affermazione descrive, dal Suo punto di vista, al meglio la situazione attuale del posto di lavoro.

Non esistono risposte né giuste né sbagliate: la migliore è quella che più si avvicina alla sua esperienza.



**Come valuta il posto di lavoro?**

<b>Caratteristiche dell'ambiente di lavoro</b>	<b>insufficiente</b>	<b>mediocre</b>	<b>sufficiente</b>	<b>buono</b>
<b>Come valuta il comfort dell'ambiente in cui lavora</b>				
Pulizia				
Illuminazione				
Temperatura				
Silenziosità				

<b>Illuminazione</b>	<b>insufficiente</b>	<b>mediocre</b>	<b>sufficiente</b>	<b>buono</b>
Come giudica l'illuminazione dell'ambiente in generale				
Come giudica l'illuminazione delle zone tinteggiate con i colori nuovi				

**DOPO l'introduzione dei 2 nuovi colori ARANCIONE e VERDE e delle nuove luci**

	<b>SI</b>	<b>NO</b>
Ha notato un cambiamento di visibilità nelle zone in cui sono stati introdotti questi 2 nuovi colori?		
L'intervento con il verde e l'arancione ha prodotto un miglioramento di visibilità e durante il lavoro si affaticano meno gli occhi?		

	<b>MIGLIORATO</b>	<b>PEGGIORATO</b>
Rispetto ai colori precedenti pensa che i nuovi colori abbiano migliorato o peggiorato il posto di lavoro?		

<b>Pensa che i 2 nuovi colori abbiano cambiato il posto di lavoro?</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>Se hanno cambiato il posto di lavoro, secondo Lei</b>		
hanno dato una nuova carica e vitalità?		
hanno prodotto sensazioni di calore?		
hanno reso il posto più gradevole?		
hanno reso l'ambiente meno monotono e noioso?		

<b>In generale</b>	<b>PRIMA</b>	<b>ADESSO</b>
<b>Preferisce lavorare nel posto di lavoro coi colori di prima o di adesso?</b>		

**Scriva le sue sensazioni sul posto di lavoro dopo l'inserimento dei 2 nuovi colori**

---

---

---

## QUESTIONARIO

Questo questionario è uno strumento di indagine del Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università degli Studi di Milano.

Attraverso le sue risposte è possibile avere dei dati che possono aiutare a dare una corretta valutazione delle condizioni di benessere del posto di lavoro.

**Il questionario è anonimo.**

Le chiediamo di rispondere seguendo l'ordine delle domande e là, dove sono indicate più risposte, di indicare con un voto o con una **X**.

**Non esistono risposte né giuste né sbagliate: la migliore è quella che più si avvicina alla sua esperienza.**

Il questionario è diviso in 3 parti

La 1.parte: domande sulla zona della mensa

La 2. parte: domande sul colore

La 3.parte: domande sulla luce

## DOMANDE SU MENSA/REFETTORIO

### Caratteristiche della zona refettorio/mensa

<b>Come giudica l'illuminazione delle singole postazioni di lavoro</b>	<b>insufficiente</b>	<b>mediocre</b>	<b>sufficiente</b>	<b>buono</b>
Pulizia				
Illuminazione				
Temperatura				
Silenziosità				
Condizioni dell'edificio				
Gradevolezza ambienti e arredi				
Spazio disponibile per persona				

<b>Illuminazione</b>	<b>insufficiente</b>	<b>mediocre</b>	<b>sufficiente</b>	<b>buono</b>
Come giudica l'illuminazione della mensa?				

<b>Il Colore nella mensa</b>	<b>insufficiente</b>	<b>mediocre</b>	<b>sufficiente</b>	<b>buono</b>
Come giudica il colore della mensa in generale?				

<b>In generale cosa si aspetta dall'inserimento di un colore ? Dare un voto da 1 a 3 alle domande qui sotto</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Che dia calore e vitalità			
Che indichi meglio i percorsi , le postazioni e funga da segnale			
Che tolga la monotonia			

<b>Cosa preferisci mangiare nella mensa?</b>	<b>Dai un voto da 0 a 10</b>
Un panino, focaccia, tramezzino o qualcosa di salato	
Un piccolo dolce, esempio: brioche, biscotti	
Un frutto, macedonia	
Un piatto di verdura (zuppe/minestre e verdure da scaldare col microonde)	
Ha qualche suggerimento di un alimento che vorresti trovare nel distributore automatico?	Quale?

**Ha dei suggerimenti per migliorare l'ambiente e aumentare il benessere della mensa?**

**Dai un voto da 0 a 10 a questi interventi**

<b>intervento</b>	<b>Voto (da 0 a 10)</b>
sedie più comode	
possibilità di sentire musica	
zona di breve lettura con riviste e giornale	
zona di silenzio assoluto	
zona di benessere con poltrone per brevi massaggi	
zona con un video per sentire le ultime notizie	
zona con computer	

**Che musica/suoni preferisci sentire? Dai un voto da 0 a 10**

<b>MUSICA/ GENERE</b>	<b>Voto (da 0 a 10)</b>
Moderna	
Jazz	
Country music/folk	
Classica	
Suoni della natura (rumore del mare e dell'acqua, canto di uccelli, rumore del vento etc..)	
Solo orchestra	

## DOMANDE SUL COLORE

Dai dei voti a questi 7 colori (da 0 a 10)

COLORE	Voto (da 0 a 10)	Cosa le fa venire in mente questo colore?
NERO		
BIANCO		
ROSSO		
VERDE		
BLU		
ARANCIONE		
GIALLO		

Qui sotto degli aggettivi. Scrivi di fianco il colore a cui ogni aggettivo ti fa pensare.

**A che colore pensi?**


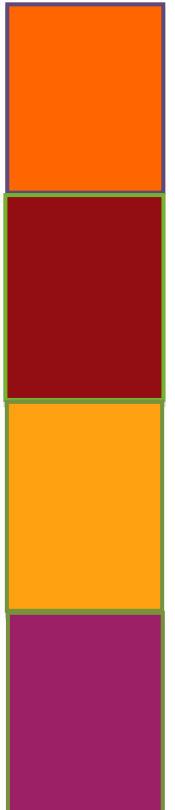
AGGETTIVO	COLORE
allegro, vivace	
energetico, che dà carica	
rilassante, tranquillizzante	
silenzioso	
leggero	
ottimista	
rumoroso	
freddo	
umido	
amaro	
dolce	
piccante, salato	
fresco	
felice	
caldo	
noioso, monotono	
appetitoso/appetizing	
nauseante	
triste, deprimente	

**Quale colore in generale preferisci indossare? Dai un voto da 0 a 10**

<b>COLORE</b>	<b>Voto (da 0 a 10)</b>
NERO	
BIANCO	
ROSSO	
VERDE	
BLU	
ARANCIONE	
AZZURRO	
ROSA	
GIALLO	
MARRONE	
VIOLA	

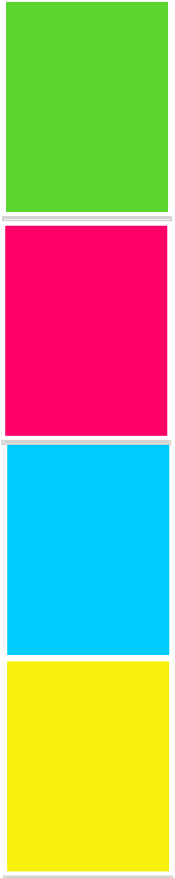
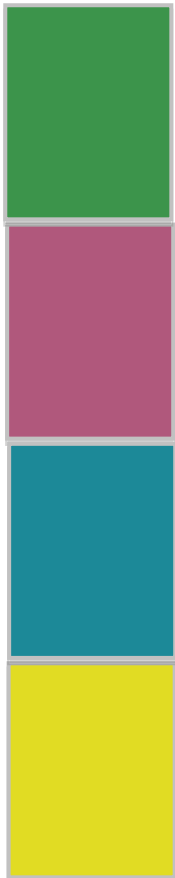
**Quale di questi gruppi di colore preferisci?**

**Segna la tua preferenza con una croce X di fianco**

<b>GRUPPO 1</b> <input type="checkbox"/>	<b>GRUPPO 2</b> <input type="checkbox"/>
	

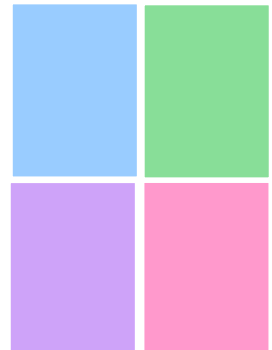
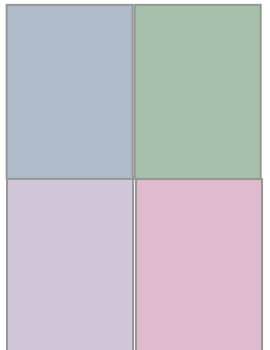
**Quale di questi gruppi di colore preferisci?**

**Segna la tua preferenza con una croce X di fianco**

GRUPPO 1 <input type="checkbox"/>	GRUPPO 2 <input type="checkbox"/>
	

**Quale di questi gruppi di colore preferisci?**

**Segna la tua preferenza con una croce X di fianco**

GRUPPO 1 <input type="checkbox"/>	GRUPPO 2 <input type="checkbox"/>
	



## DOMANDE SULLA LUCE







### Dia dei voti alle seguenti luci naturali (voto da 0 a 10)

- 
- Sole del primo mattino\_\_\_\_\_
- Sole di mezzogiorno\_\_\_\_\_
- Sole del tramonto\_\_\_\_\_
- Luna in notturna\_\_\_\_\_

### Quale momento della giornata preferisci?(voto da 0 a 10)

- Il primo mattino\_\_\_\_\_
- Il giorno in generale\_\_\_\_\_
- La sera\_\_\_\_\_
- La notte\_\_\_\_\_

### Quale tipo di sorgente luminosa preferisce? Lo segni con una X.

		
<b>Candela</b>	<b>Luce solare</b>	<b>Luce lunare</b>
		
<b>Lampada fluorescente</b>	<b>Lampadina</b>	<b>Faretto</b>

**Allegato 5 – Tabelle calcolo coordinate cromatiche dei campioni analizzati**

CAMPIONE	SFONDO campione 1								
	CIE		TRISTIMOLO			controllo Y/Yn	CIELab		
	x	y	X	Y	Z		L	a	b
<b>Tappeti in commercio</b>									
BluOrogeI chiuso	0,2848	0,2692	82,47	77,96	129,16	0,7796	90,76	7,31	-68,3278
A front mod chius	0,3784	0,3934	135,78	141,16	81,88	1,4116	114,1	-8,87	7,531105
A retro mod chiuso	0,3779	0,389	158,94	163,62	98,05	1,6362	120,7	-7,41	5,42483
B mod aperto	0,2357	0,2649	86,91	97,68	184,09	0,9768	99,1	-20,37	-85,6052
B mod aperto	0,2413	0,2737	90,2	102,31	181,25	1,0231	100,9	-22,16	-81,0499
C mod aperto OrogeI	0,3867	0,3953	677,65	692,83	381,99	6,9283	205,1	-9,83	18,97973
C mod aperto OrogeI	0,3858	0,3947	650,24	665,31	369,93	6,6531	202,2	-9,93	17,71672
D fronte mod chiuso	0,3781	0,3936	524,36	545,98	316,66	5,4598	188,3	-14,37	11,8347
D retro mod chiuso	0,3766	0,3907	601,25	623,86	371,61	6,2386	197,5	-13,96	9,195054
D fronte mod chiuso	0,3745	0,3899	489,32	509,42	307,77	5,0942	183,6	-14,00	7,006852
D retro mod chiuso	0,3762	0,391	605,03	628,77	374,4	6,2877	198,1	-14,48	9,262268
E mod aperto	0,3828	0,395	460,17	474,76	267,05	4,7476	179	-11,18	14,59466
E mod aperto	0,3834	0,3943	474,75	488,27	275,27	4,8827	180,8	-10,41	14,48748
F mod aperto	0,4327	0,4183	184,19	178,06	63,41	1,7806	124,6	5,05	43,29839
F mod aperto	0,4335	0,4169	169,39	162,89	58,47	1,6289	120,5	5,95	41,52
G mod aperto	0,3822	0,3941	444,73	458,58	260,32	4,5858	176,7	-10,90	13,45597
G mod aperto	0,3828	0,3931	464,73	477,18	272,08	4,7718	179,3	-9,87	13,15855
H mod aperto	0,2955	0,2981	34,03	34,33	46,79	0,3433	65,22	-2,06	-39,8864
H mod aperto	0,2973	0,3001	40,61	41	54,99	0,41	70,18	-2,28	-41,2985
I retro mod chiuso	0,371	0,3851	93,72	97,3	61,61	0,973	98,95	-7,61	0,973222
I retro mod chiuso	0,3693	0,3851	87,12	90,84	57,96	0,9084	96,34	-8,12	0,460464
I fronte mod chiuso	0,3649	0,3806	61,69	64,33	43,03	0,6433	84,14	-7,25	-2,32196
M retro mod chiuso	0,3838	0,3926	676,36	691,94	394,13	6,9194	205	-10,02	15,01832
M fronte mod chiuso	0,386	0,3956	615,46	630,76	348,23	6,3076	198,3	-10,26	18,23965
N fronte mod aperto	0,3817	0,3941	38,61	39,86	22,68	0,3996	69,37	-4,97	5,850703
N fronte mod aperto	0,3832	0,3923	41,03	42,01	24,05	0,4201	70,88	-4,04	5,660474
O mod aperto	0,2644	0,2618	47,12	46,66	84,42	0,4666	73,97	0,11	-63,9184
O mod aperto	0,2594	0,2763	42,6	45,37	76,25	0,4537	73,13	-9,10	-58,0542
P mod aperto	0,4235	0,4224	303,44	302,62	110,4	3,0262	151,8	-1,50	49,75221
P mod aperto	0,4234	0,4223	307,82	307,06	112,15	3,0706	152,6	-1,57	49,90111
<b>simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato</b>									
<b>CAMPIONI</b>									
campione 1*	0,3756	0,3894	397,71	412,23	248,8	4,1223	170	-11,89	6,635421
campione 1*	0,3761	0,3902	397,79	412,71	247,07	4,1271	170,1	-12,14	7,489433
campione 2*	0,3955	0,4003	208,45	210,95	107,63	2,1095	132,8	-4,45	18,98682
campione 2*	0,3961	0,4	209,51	211,6	107,85	2,116	132,9	-4,03	19,08829
campione 6*	0,4369	0,4105	263,64	247,72	92,11	2,4772	141	12,14	45,11321
campione 6*	0,4345	0,4109	269,77	255,1	95,97	2,551	142,5	10,78	44,66733
campione 6* ondulato	0,4426	0,4129	194,59	181,52	63,54	1,8152	125,5	12,44	44,7225
campione 6* ondulato	0,4422	0,4136	209,04	195,55	68,18	1,9555	129,1	12,15	46,11628
campione 4*	0,2233	0,2537	87,74	99,69	205,47	0,9969	99,88	-22,24	-94,8494
campione 5*	0,381	0,3984	112,77	116,87	66,36	1,1687	106,2	-7,78	8,51401
campione 7*	0,4309	0,4212	448,13	438,09	153,83	4,3809	173,8	3,75	59,71101
campione 7*	0,4308	0,4207	451,5	440,86	155,65	4,4086	174,2	4,08	59,34831

SFONDO campione 2

CAMPIONE Tappeti in commercio	CIE		TRISTIMOLO			Y/Yn	CIELab		
	x	y	X	Y	Z		L	a	b
<b>BluOrogel</b> chiuso	0,268	0,2493	68,65	63,86	123,68	0,6386	83,89282	9,193	-76,5492
<b>A</b> front mod chiuso	0,3708	0,3959	22,16	23,66	13,95	0,2366	55,74576	-7,580	3,499716
<b>A</b> retro mod chiuso	0,3786	0,3894	140,42	144,45	86,06	1,4445	115,1285	-6,974	5,632171
<b>B</b> mod aperto	0,229	0,2629	90,76	104,17	201,35	1,0417	101,5905	-24,198	-89,9176
<b>B</b> mod aperto	0,2298	0,2593	74,75	84,32	166,15	0,8432	93,58931	-19,944	-85,5552
<b>C</b> mod aperto Orogel	0,3866	0,3955	650,06	665,13	366,47	6,6513	202,1525	-9,935	18,80382
<b>C</b> mod aperto Orogel	0,3859	0,3945	642,88	657,29	365,97	6,5729	201,292	-9,664	17,48274
<b>D</b> fronte mod chiuso	0,3758	0,3914	475,75	495,46	294,76	4,9546	181,755	-13,961	8,653033
<b>D</b> retro mod chiuso	0,3764	0,3911	606,19	629,95	374,5	6,2995	198,2364	-14,474	9,461007
<b>D</b> fronte mod chiuso	0,3769	0,392	497,23	517,13	304,84	5,1713	184,5971	-13,778	9,807511
<b>D</b> retro mod chiuso	0,3763	0,391	611,95	635,82	378,52	6,3582	198,8998	-14,464	9,321537
<b>E</b> mod aperto	0,3828	0,3952	465,48	480,56	269,84	4,8056	179,7524	-11,406	14,84206
<b>E</b> mod aperto	0,3839	0,395	482,41	496,38	277,9	4,9638	181,8773	-10,594	15,32456
<b>F</b> mod aperto	0,4363	0,4196	145,85	140,28	48,15	1,4028	113,8544	5,623	42,23296
<b>F</b> mod aperto	0,4391	0,4189	154,59	147,5	50	1,475	116,045	7,255	43,71262
<b>G</b> mod aperto	0,3814	0,3956	413,47	428,85	241,7	4,2885	172,4632	-12,220	13,90467
<b>G</b> mod aperto	0,3835	0,3923	452,75	463,08	264,68	4,6308	177,3496	-8,707	12,76921
<b>H</b> mod aperto	0,2847	0,2927	29,32	30,14	43,54	0,3014	61,77483	-4,058	-41,5665
<b>H</b> mod aperto	0,2845	0,2854	32,88	32,98	49,71	0,3298	64,14471	-1,377	-45,4143
<b>I</b> retro mod chiuso	0,3706	0,3858	92,79	96,6	60,98	0,966	98,67015	-8,038	1,17132
<b>I</b> retro mod chiuso	0,3725	0,3867	97,74	101,46	63,2	1,0146	100,5618	-7,695	2,07619
<b>I</b> fronte mod chiuso	0,3668	0,3816	70,39	73,23	48,3	0,7323	88,55729	-7,228	-1,57113
<b>M</b> retro mod chiuso	0,3842	0,3942	658,06	675,1	379,42	6,751	203,2371	-10,809	16,51354
<b>M</b> fronte mod chiuso	0,3859	0,3959	618,65	634,74	349,95	6,3474	198,7781	-10,623	18,43782
<b>N</b> fronte mod aperto	0,3822	0,3939	35,81	36,91	20,98	0,3691	67,20945	-4,657	5,749626
<b>N</b> fronte mod aperto	0,3837	0,3952	42,36	43,62	24,4	0,4362	71,97377	-4,805	6,85425
<b>O</b> mod aperto	0,2662	0,2644	50,4	50,06	88,87	0,5006	76,10607	-0,288	-64,0216
<b>O</b> mod aperto	0,2602	0,2629	45,81	46,3	83,98	0,463	73,73978	-2,517	-63,9372
<b>P</b> mod aperto	0,423	0,425	288,15	289,54	103,52	2,8954	149,3335	-3,261	50,60571
<b>P</b> mod aperto	0,422	0,4214	369,21	368,71	139,97	3,6871	163,2062	-1,953	49,72289

**CAMPIONE**  
Tappeti in commercio

**ΔE**CIELab  
sfondo1/sfondo2

sfondo1/  
sfondo2

<b>BluOrogel</b> chiuso	10,87725467	tinta diversa
<b>A</b> front mod chiuso	58,53277009	tinta diversa
<b>A</b> retro mod chiuso	5,5824261	tinta molto simile
<b>B</b> mod aperto	6,283383963	tinta molto simile
<b>B</b> mod aperto	8,856877956	tinta molto simile
<b>C</b> mod aperto Orogel	2,994287052	tinta molto simile
<b>C</b> mod aperto Orogel	0,949958931	tinte identiche
<b>D</b> fronte mod chiuso	7,252770086	tinta molto simile
<b>D</b> retro mod chiuso	0,900034028	tinte identiche
<b>D</b> fronte mod chiuso	2,982414247	tinta molto simile
<b>D</b> retro mod chiuso	0,799544793	tinte identiche
<b>E</b> mod aperto	0,860147417	tinte identiche
<b>E</b> mod aperto	1,382162309	tinta molto simile
<b>F</b> mod aperto	10,8118144	tinta diversa
<b>F</b> mod aperto	5,122679766	tinta molto simile
<b>G</b> mod aperto	4,481231097	tinta molto simile
<b>G</b> mod aperto	2,297738838	tinta molto simile
<b>H</b> mod aperto	4,32401339	tinta molto simile
<b>H</b> mod aperto	7,35787555	tinta molto simile
<b>I</b> retro mod chiuso	0,546624856	tinte identiche
<b>I</b> retro mod chiuso	4,536979793	tinta molto simile
<b>I</b> fronte mod chiuso	4,48340353	tinta molto simile
<b>M</b> retro mod chiuso	2,474795509	tinta molto simile
<b>M</b> fronte mod chiuso	0,611272783	tinte identiche
<b>N</b> fronte mod aperto	2,18548054	tinta molto simile
<b>N</b> fronte mod aperto	1,791577071	tinta molto simile
<b>O</b> mod aperto	2,173875724	tinta molto simile
<b>O</b> mod aperto	8,852270147	tinta molto simile
<b>P</b> mod aperto	3,136354462	tinta molto simile
<b>P</b> mod aperto	10,6115015	tinta diversa





CAMPIONE Tappeti in commercio	PUNTO 1									ΔE1
	CIE		tristimolo			CIELab				
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	L	a	b	
BluOrogel chiuso	0,3868	0,4526	111,02	129,93	46,09	1,2993	110,578847	-29,41004578	39,21391902	115,3533712
A front mod chius	0,3822	0,477	49,79	62,14	18,35	0,6214	82,9878152	-31,55808638	38,96697695	49,72559516
A retro mod chiuso	0,3799	0,4838	74,62	95,04	26,77	0,9504	98,04952087	-39,4319275	47,26756297	57,34824244
B mod aperto	0,3728	0,4938	47,51	62,93	17	0,6293	83,40553487	-39,484133	42,99953303	130,9609268
B mod aperto	0,3339	0,4636	13,94	19,36	8,46	0,1936	51,10575602	-30,76785323	13,9570071	107,6036998
C mod aperto Orogel	0,3917	0,4647	123,41	146,41	45,21	1,4641	115,7189427	-33,03625957	49,22286488	97,20705393
C mod aperto Orogel	0,3625	0,4502	26,21	32,55	13,54	0,3255	63,79487282	-24,91438925	18,56681198	139,188363
D fronte mod chiuso	0,368	0,4763	46,92	60,73	19,86	0,6073	82,23337898	-36,04865651	34,14849405	110,4976787
D retro mod chiuso	0,3634	0,482	33,86	44,91	14,41	0,4491	72,83259334	-35,44015218	31,65284303	128,5240728
D fronte mod chiuso	0,3464	0,4403	19,27	24,5	11,87	0,245	56,58496705	-24,92639306	11,24498047	127,5501064
D retro mod chiuso	0,3438	0,4558	29,21	38,73	17,03	0,3873	68,55523253	-33,6980994	17,32008473	131,2130975
E mod aperto	0,3694	0,4714	40,85	52,13	17,61	0,5213	77,35850694	-32,51796182	31,05599565	105,1175739
E mod aperto	0,3582	0,4401	18,34	22,53	10,33	0,2253	54,58488635	-21,01407901	12,95222813	126,6632473
F mod aperto	0,3921	0,525	29,13	39,01	6,16	0,3901	68,75850854	-34,87652944	54,60338533	69,5705798
F mod aperto	0,3904	0,4936	11,06	13,98	3,28	0,1398	44,20423556	-20,21008616	29,61180083	81,5170647
G mod aperto	0,3917	0,4708	139,45	167,6	48,95	1,676	121,7894587	-36,97286974	54,91362418	73,59459693
G mod aperto	0,3502	0,4214	11,09	13,35	7,24	0,1335	43,28594468	-16,03577406	5,621226496	136,3546185
H mod aperto	0,3653	0,4963	89,91	122,13	34,06	1,2213	107,9934588	-53,30821673	51,9263212	113,5119349
H mod aperto	0,3717	0,4564	30,17	37,05	13,95	0,3705	67,31452578	-24,76564171	23,44586498	68,59609501
I retro mod chiuso	0,3655	0,494	15,39	20,8	5,92	0,208	52,72990879	-29,10029052	28,17237656	57,77192218
I retro mod chiuso	0,375	0,4882	12,91	16,8	4,71	0,168	48,00704089	-23,94111511	26,6581035	57,20967157
I fronte mod chiuso	0,3496	0,4366	5,25	6,56	3,21	0,0656	30,78348847	-14,98879836	7,00414574	54,71214285
M retro mod chiuso	0,3853	0,4655	89,89	108,61	34,82	1,0861	103,2379755	-32,84612267	42,53219907	107,9010836
M fronte mod chiuso	0,3539	0,4541	25,81	33,13	14	0,3313	64,26603335	-28,57651835	18,04640682	135,3078091
N fronte mod aperto	0,3737	0,4907	7,7	10,11	2,79	0,1011	38,03913322	-20,84483027	22,87760947	39,03166552
N fronte mod aperto	0,3893	0,4689	105,99	127,69	38,61	1,2769	109,8472177	-34,17293625	48,21420147	65,09486089
O mod aperto	0,3419	0,4476	12,14	15,9	7,47	0,159	46,84301757	-24,03589895	10,74187027	83,02541527
O mod aperto	0,3804	0,4591	71,63	86,46	30,21	0,8646	94,50868209	-30,29151526	35,02059465	97,81946559
P mod aperto	0,3921	0,471	131,22,00	157,65	45,83	1,5765	119,0069049	-392,6487348	54,08232405	392,5403417
P mod aperto	0,3829	0,4923	29,95	38,51	9,76	0,3851	68,39482729	-30,23678874	38,80059696	89,64489226
simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato										
<b>CAMPIONI</b>										
campione 1*	0,3458	0,4212	21,6	26,31	14,55	0,2631	58,33013791	-21,28207605	6,25637826	112,0615846
campione 1*	0,367	0,4861	42,06	55,71	16,83	0,5571	79,44848557	-37,90985692	36,60643315	98,60890647
campione 2*	0,3833	0,4683	99,6	121,71	38,56	1,2171	107,8511595	-35,99602476	44,84560307	47,80263583
campione 2*	0,3686	0,4551	17,98	22,2	8,6	0,222	54,23856778	-21,38678871	18,80024661	80,57788884
campione 6*	0,386	0,4788	67,06	83,19	23,48	0,8319	93,09755826	-33,90406082	45,11814195	66,40854421
campione 6*	0,3938	0,4881	25,57	31,69	7,67	0,3169	63,0858407	-24,47634407	37,88328589	87,15241378
campione 6* ondulato	0,4093	0,4841	34	40,21	8,86	0,4021	69,61884146	-21,10955555	44,29724047	65,18377179
campione 6* ondulato	0,4061	0,4839	22,44	26,74	6,08	0,2674	58,73289224	-19,1899831	37,71581011	77,45192935
campione 4*	0,3558	0,4635	35,14	45,78	17,85	0,4578	73,40255256	-33,57261568	23,6478947	121,9471808
campione 5*	0,3845	0,4854	66,34	83,75	22,44	0,8375	93,3418106	-36,52412	47,68224616	50,25177772
campione 7*	0,3892	0,4904	77,31	97,41	23,92	0,9741	98,98976074	-38,11533527	54,38950884	85,89788215
campione 7*	0,384	0,4661	20,18	24,49	7,88	0,2449	56,5750902	-20,42082825	25,76723552	124,7604498

CAMPIONE Tappeti in commercio	PUNTO 2										ΔE2
	tristimolo					CIELab					
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	esito	L	a	b	
BluOrogel chiuso	0,3782	0,4469	87,19	103,02	40,33	1,0302	OK	101,1561715	-28,7388737	30,75992574	105,9530053
A front mod chiuso	0,3752	0,4859	37,6	48,69	13,91	0,4869	OK	75,25806321	-33,54600226	37,25661554	54,80249401
A retro mod chiuso	0,3803	0,4712	76,13	94,33	29,72	0,9433	OK	97,76480691	-35,17510207	41,479979	50,95536453
B mod aperto	0,353	0,4937	30,6	42,8	13,29	0,428	OK	71,4190157	-40,87645332	32,44890355	122,977025
B mod aperto	0,3503	0,4627	23,93	31,61	12,77	0,3161	OK	63,01923505	-31,10387586	19,52966031	107,8434062
C mod aperto Orogel	0,3916	0,4646	160,36	190,26	58,92	1,9026	OK	127,7387355	-36,06483731	53,52807356	88,72833149
C mod aperto Orogel	0,3552	0,4682	26,5	34,93	13,18	0,3493	OK	65,69412981	-31,9285249	22,90562782	138,3362729
D fronte mod chiuso	0,3735	0,4883	66,34	86,72	24,53	0,8672	OK	94,61934407	-42,03072981	45,6415946	103,3289399
D retro mod chiuso	0,3828	0,4749	90,42	112,18	33,61	1,1218	OK	104,5303639	-37,47305642	46,67144085	102,9981751
D fronte mod chiuso	0,3569	0,4718	29,9	39,52	14,35	0,3952	OK	69,12627594	-33,57529405	25,43151755	117,5838168
D retro mod chiuso	0,3797	0,4669	42,61	52,4	17,22	0,524	OK	77,51940856	-27,9738575	32,29957516	123,5037347
E mod aperto	0,3624	0,4836	25,4	33,89	10,8	0,3389	OK	64,87516484	-32,8917183	29,06922741	117,0336058
E mod aperto	0,3723	0,4687	41,49	52,23	17,73	0,5223	OK	77,41816477	-30,8534138	30,86444628	106,6434867
F mod aperto	0,3877	0,5329	27,45	37,73	5,82	0,3773	OK	67,82114538	-37,31522379	55,74407653	71,92640718
F mod aperto	0,3701	0,4873	14,74	19,41	5,68	0,1941	OK	51,16347647	-26,16369149	26,70914963	77,8216156
G mod aperto	0,3729	0,5025	40,01	53,93	13,37	0,5393	OK	78,42089861	-39,65016529	44,28427169	106,9582308
G mod aperto	0,3567	0,4546	18,52	23,6	9,79	0,236	OK	55,68506063	-24,83262323	16,7779863	124,5621909
H mod aperto	0,3817	0,4769	85,99	107,44	31,87	1,0744	OK	102,8082656	-38,05492849	46,53246979	100,8775669
H mod aperto	0,3373	0,4399	5,16	6,73	3,41	0,0673	OK	31,18417261	-17,78869147	6,195953538	63,37555452
I retro mod chiuso	0,3795	0,4699	57,53	71,24	22,83	0,7124	OK	87,60147998	-31,94853695	36,97389893	44,91236231
I retro mod chiuso	0,3684	0,4771	9,94	12,88	4,17	0,1288	OK	42,58187623	-21,5835996	20,63373289	58,97864045
I fronte mod chiuso	0,3721	0,4554	27,43	33,57	12,71	0,3357	OK	64,61980988	-23,59506736	22,47234752	35,53438729
M retro mod chiuso	0,3777	0,4769	75,17	94,92	28,93	0,9492	OK	98,00150001	-38,11674866	43,27081209	114,218436
M fronte mod chiuso	0,3643	0,4399	32,03	38,68	17,22	0,3868	OK	68,51883024	-23,22222486	16,78133669	130,4631169
N fronte mod aperto	0,3834	0,4827	15,46	19,46	5,4	0,1946	OK	51,22109787	-22,19237304	28,29715247	33,61191273
N fronte mod aperto	0,3841	0,4646	78,51	94,97	30,94	0,9497	OK	98,02151362	-31,58675013	39,83455303	51,60806079
O mod aperto	0,2761	0,3338	3,23	3,91	4,56	0,0391	OK	23,37164631	-10,94502681	-14,91858896	71,29936867
O mod aperto	0,3653	0,4583	26,83	33,66	12,95	0,3366	OK	64,69179189	-26,2844445	21,86757028	82,18226851
P mod aperto	0,3926	0,4747	99,37	120,15	33,6	1,2015	OK	107,3197345	-34,0889093	51,49688333	55,15575549
P mod aperto	0,3746	0,4631	43,34	53,58	18,77	0,5358	OK	78,21619458	-28,84712257	29,74280657	81,7555424
simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato											
CAMPIONI											
campione 1*	0,352	0,4268	24,49	29,62	15,29	0,2962	OK	61,32495465	-21,40529954	9,387373675	109,1223549
campione 1*	0,3592	0,4715	25,28	33,19	11,92	0,3319	OK	64,31445932	-30,97284736	24,4119862	108,7421565
campione 2*	0,3813	0,4879	70,86	90,67	24,31	0,9067	OK	96,27399971	-39,50466405	48,92947848	58,80234067
campione 2*	0,3738	0,4719	19,89	25,11	8,21	0,2511	OK	57,18244137	-24,44615915	25,4462804	78,70268394
campione 6*	0,3854	0,4789	72,55	90,16	25,55	0,9016	OK	96,06309778	-35,0900915	46,14715862	65,16886768
campione 6*	0,3914	0,448	11,14	12,76	4,57	0,1276	OK	42,39937699	-11,85495664	17,82736058	106,0790101
campione 6* ondulato	0,3851	0,5057	45,89	60,26	13,02	0,6026	OK	81,97930736	-37,80907538	51,46273852	66,81987603
campione 6* ondulato	0,3909	0,4742	14,94	18,13	5,16	0,1813	OK	49,65340535	-18,46909293	26,91174714	87,24595783
campione 4*	0,3288	0,4599	24,95	34,9	16,04	0,349	OK	65,67073515	-38,1964388	14,8860071	116,0464334
campione 5*	0,3859	0,5117	31,56	41,84	8,37	0,4184	OK	70,76046704	-34,56100163	48,20651616	59,56207978
campione 7*	0,3883	0,4951	56,88	72,53	17,09	0,7253	OK	88,22307482	-36,19522526	51,07946566	94,83958411
campione 7*	0,3835	0,4692	23,74	29,05	9,12	0,2905	OK	60,82573103	-22,47041002	28,13576449	120,5586889

CAMPIONE Tappeti in commercio	PUNTO 3										ΔE3
	tristimolo					CIE Lab					
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	esito	L	a	b	
<b>BluOrogel</b> chiuso	0,3785	0,4492	86,13	102,2	39,19	1,022	OK	100,8445036	-29,3333106	31,85141994	107,1464811
<b>A</b> front mod chiuso	0,3666	0,5159	18,4	25,89	5,9	0,2589	OK	57,93249105	-35,13487872	37,24418086	68,77857855
<b>A</b> retro mod chiuso	0,3788	0,5056	36,22	48,36	11,06	0,4836	OK	75,0514263	-37,11220759	45,73582873	67,75019155
<b>B</b> mod aperto	0,3688	0,4947	47,07	63,14	17,41	0,6314	OK	83,51598556	-41,16477274	42,16600406	130,3866956
<b>B</b> mod aperto	0,354	0,4725	23,51	31,38	11,52	0,3138	OK	62,82711565	-32,09714874	23,13799656	111,3661328
<b>C</b> mod aperto Orogel	0,3679	0,4911	38,21	51,01	14,64	0,5101	OK	76,68506604	-37,76153636	37,65198432	132,7756541
<b>C</b> mod aperto Orogel	0,3587	0,4615	30,34	39,04	15,2	0,3904	OK	68,78023035	-30,45652075	22,48493786	135,0455675
<b>D</b> fronte mod chiuso	0,3559	0,4914	24,76	34,19	10,62	0,3419	OK	65,11310432	-36,59152425	30,09607692	126,4621044
<b>D</b> retro mod chiuso	0,3948	0,4603	164,14	191,35	60,25	1,9135	OK	128,0127062	-32,69656818	52,54934447	84,05386351
<b>D</b> fronte mod chiuso	0,3496	0,4438	26,86	34,1	15,88	0,341	OK	65,04186912	-27,67360486	14,22186055	119,5576152
<b>D</b> retro mod chiuso	0,3468	0,4469	28,33	36,52	16,86	0,3652	OK	66,91534501	-29,98515172	14,92158441	132,2218134
<b>E</b> mod aperto	0,361	0,4968	23,31	32,08	9,18	0,3208	OK	63,40894797	-35,47999782	32,3613095	119,4103131
<b>E</b> mod aperto	0,3551	0,441	18,96	23,54	10,88	0,2354	OK	316,4503609	-1146,588251	462,5477153	1228,849754
<b>F</b> mod aperto	0,391	0,4726	123,12	148,8	42,97	1,488	OK	116,4318054	-36,5281147	53,43959861	43,5698118
<b>F</b> mod aperto	0,3762	0,4786	12,04	15,31	4,64	0,1531	OK	46,05589631	-21,32276162	23,71077645	81,2451575
<b>G</b> mod aperto	0,3704	0,5071	30,55	41,82	10,1	0,4182	OK	70,74664067	-38,16135303	41,63047137	112,9944376
<b>G</b> mod aperto	0,3503	0,4541	15,53	20,12	8,67	0,2012	OK	51,9726155	-25,02846994	14,61662189	128,2272095
<b>H</b> mod aperto	0,3948	0,4636	96,27	113,03	34,53	1,1303	OK	104,8340221	-28,6024049	45,73792399	98,00447782
<b>H</b> mod aperto	0,3674	0,4785	12,57	16,37	5,27	0,1637	OK	47,45622256	-23,79841527	22,51467928	71,07149275
<b>I</b> retro mod chiuso	0,3785	0,4635	67,36	82,48	28,12	0,8248	OK	92,78630018	-31,91272197	35,72322659	42,8501024
<b>I</b> retro mod chiuso	0,3589	0,468	11,36	14,82	5,48	0,1482	OK	45,38666745	-23,1624771	17,80730958	55,89014148
<b>I</b> fronte mod chiuso	0,3697	0,4707	39,24	49,96	16,93	0,4996	OK	76,04470266	-31,77970865	30,48490607	41,75223879
<b>M</b> retro mod chiuso	0,3787	0,4914	67,56	87,66	23,17	0,8766	OK	95,01759409	-41,09829971	49,06058504	119,292354
<b>M</b> fronte mod chiuso	0,3557	0,4427	26,05	32,42	14,76	0,3242	OK	63,68850135	-25,10639219	14,91127911	135,4966733
<b>N</b> fronte mod aperto	0,3639	0,4841	11,84	15,74	4,94	0,1574	OK	46,63151234	-25,17449242	22,94569434	34,891140269
<b>N</b> fronte mod aperto	0,3852	0,4727	89,82	110,22	33,13	1,1022	OK	103,8242699	-35,49817102	46,22482121	60,99558043
<b>O</b> mod aperto	0,3122	0,4104	6,53	8,59	5,81	0,0859	OK	35,18260395	-19,86927906	-1,51863529	76,1417058
<b>O</b> mod aperto	0,3775	0,4614	80,21	98,04	34,23	0,9804	OK	99,23712731	-33,53079486	36,5603607	101,1429145
<b>P</b> mod aperto	0,393	0,4794	119,63	145,93	38,81	1,4593	OK	115,5748398	-37,93123351	57,7985148	51,99056354
<b>P</b> mod aperto	0,3746	0,4778	20,06	25,59	7,9	0,2559	OK	57,64581701	-25,61677205	27,52932445	100,477726
<b>simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato</b>											
<b>CAMPIONI</b>											
<b>campione 1*</b>	0,365	0,463	41,43	52,56	19,53	0,5256	OK	77,61449699	-31,87898908	26,93804074	96,67660284
<b>campione 1*</b>	0,3609	0,4704	25,53	33,28	11,94	0,3328	OK	64,38698898	-30,24981861	24,47328035	108,5582496
<b>campione 2*</b>	0,3898	0,4639	106,12	126,3	39,81	1,263	OK	109,3889039	-31,98972722	45,69341806	44,92919266
<b>campione 2*</b>	0,3665	0,4634	15,85	20,04	7,36	0,2004	OK	51,88240622	-22,8116924	19,91195444	83,19397263
<b>campione 6*</b>	0,3943	0,4931	38,6	48,28	11,02	0,4828	OK	75,00119102	-29,27687746	45,78349438	77,88131313
<b>campione 6*</b>	0,4052	0,4478	11,98	13,24	4,34	0,1324	OK	43,12266259	-9,089096832	20,48848578	104,1880625
<b>campione 6* ondulato</b>	0,4018	0,486	30,84	37,3	8,62	0,373	OK	67,50149796	-23,11463965	41,58812611	68,10484422
<b>campione 6* ondulato</b>	0,4019	0,4614	10,03	11,52	3,41	0,1152	OK	40,44283452	-11,66873001	22,15916372	94,83824866
<b>campione 4*</b>	0,3589	0,4818	38,59	51,8	17,12	0,518	OK	77,16109313	-38,61814761	31,93186968	129,8380393
<b>campione 5*</b>	0,3841	0,4766	62,47	77,53	22,65	0,7753	OK	90,56499868	-33,17940206	42,4566682	45,17925166
<b>campione 7*</b>	0,3973	0,4793	126,58	152,69	39,31	1,5269	OK	117,5759242	-36,50075623	60,52576309	69,15582421
<b>campione 7*</b>	0,3771	0,4636	40,08	49,28	16,94	0,4928	OK	75,62519015	-27,38559656	29,73636989	107,8350363



CAMPIONE Tappeti in commercio	PUNTO 4											ΔE4
	tristimolo					CIELab						
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	esito	L	a	b		
BluOrogel chiuso	0,3805	0,4546	92,51	110,53	40,09	1,1053	OK	103,9365023	-31,22743723	35,89394019	111,8971991	
A front mod chius	0,3821	0,5329	26,65	37,16	5,93	0,3716	OK	67,39689683	-38,66502079	53,40945553	71,94636361	
A retro mod chiuso	0,3818	0,5259	30,84	42,48	7,46	0,4248	OK	71,20060376	-39,05906121	52,7812836	75,45534553	
B mod aperto	0,3756	0,4677	59,16	73,69	24,69	0,7369	OK	88,77576523	-33,13080439	35,25170479	121,9662584	
B mod aperto	0,3454	0,466	18,52	24,99	10,11	0,2499	OK	57,06567621	-30,78355244	18,00699201	108,6596762	
C mod aperto Orogel	0,3884	0,474	119,6	145,95	42,35	1,4595	OK	115,5808504	-38,00138146	52,81766193	99,79664466	
C mod aperto Orogel	0,3654	0,4421	37,32	45,16	19,66	0,4516	OK	72,9971229	-24,69593583	18,67935557	130,0193207	
D fronte mod chiuso	0,3634	0,4741	28,94	37,75	12,93	0,3775	OK	67,83595346	-31,62004426	27,34893316	122,6392763	
D retro mod chiuso	0,3697	0,4911	42,83	56,89	16,13	0,5689	OK	80,11768461	-38,52882413	39,55945807	123,7509179	
D fronte mod chiuso	0,3628	0,4642	47,44	60,71	22,63	0,6071	OK	82,22259418	-34,57638619	28,11480678	105,572286	
D retro mod chiuso	0,3538	0,4333	44,3	54,25	26,65	0,5425	OK	78,60728295	-27,76769483	13,9699869	120,3242285	
E mod aperto	0,3661	0,5039	27,39	37,69	9,72	0,3769	OK	67,79151351	-37,42372546	37,90637596	116,5814684	
E mod aperto	0,4006	0,4749	60,08	71,23	18,68	0,7123	OK	87,59663222	-25,89016987	46,12840682	99,63245466	
F mod aperto	0,395	0,4714	124,03	148,01	41,93	1,4801	OK	116,1970231	-34,2029891	54,45729937	41,66473372	
F mod aperto	0,3722	0,4767	22,13	28,35	8,99	0,2835	OK	60,20363303	-26,93083145	27,56123967	70,07061013	
G mod aperto	0,3859	0,4806	83,13	103,55	28,76	1,0355	OK	101,3567364	-37,11328502	49,35653666	87,49817475	
G mod aperto	0,3631	0,4556	27,58	34,6	13,77	0,346	OK	65,43604784	-26,52398795	20,72633829	115,3164227	
H mod aperto	0,3823	0,4836	71,31	90,22	25,01	0,9022	OK	96,08795098	-37,76391216	47,23346998	99,08113935	
H mod aperto	0,3344	0,4372	5,28	6,91	3,61	0,0691	OK	31,60113831	-18,15827544	5,473358004	62,67055816	
I retro mod chiuso	0,3746	0,4856	29,21	37,86	10,9	0,3786	OK	67,91730456	-30,94840985	33,97469156	50,95670247	
I retro mod chiuso	0,3647	0,4635	6,64	8,43	3,13	0,0843	OK	34,86282924	-17,37000318	14,65454323	63,77221783	
I fronte mod chiuso	0,3568	0,4579	10,84	13,91	5,63	0,1391	OK	44,10358344	-21,37349728	14,79910527	45,77297248	
M retro mod chiuso	0,3874	0,4757	133,64	164,09	47,24	1,6409	OK	120,8207692	-40,64228513	55,39565474	98,29380744	
M fronte mod chiuso	0,3544	0,4393	22,28	27,61	12,97	0,2761	OK	59,53474918	-23,3679681	12,91578482	139,5126921	
N fronte mod aperto	0,371	0,4562	26,04	32,01	12,12	0,3201	OK	63,35114795	-23,69302733	22,11671317	25,52034302	
N fronte mod aperto	0,3842	0,4932	37,66	48,34	12,01	0,4834	OK	75,03887267	-32,40993009	42,61600669	46,77388944	
O mod aperto	0,3343	0,4366	8,59	11,22	5,88	0,1122	OK	39,94856365	-21,20003097	6,339474769	80,91926115	
O mod aperto	0,3671	0,4783	48,8	63,58	20,56	0,6358	OK	83,74661439	-37,46507155	35,18714832	98,03511612	
P mod aperto	0,3944	0,4824	118,89	145,4	37,15	1,454	OK	115,4153587	-38,33724028	59,96904841	52,76343253	
P mod aperto	0,3849	0,4828	24,57	30,83	8,45	0,3083	OK	62,36386194	-25,54410451	33,40763804	94,81590127	
<b>simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato</b>												
<b>CAMPIONI</b>												
campione 1*	0,3565	0,4437	25,3	31,49	14,19	0,3149	OK	62,91911555	-24,87533141	15,18216897	108,2004416	
campione 1*	0,3747	0,4989	52,02	69,26	17,55	0,6926	OK	86,63263637	-41,45566375	47,19357955	96,93911134	
campione 2*	0,383	0,4826	87,02	109,64	30,54	1,0964	OK	103,6137203	-39,64147943	50,15474017	55,32017568	
campione 2*	0,3625	0,462	14,63	18,65	7,09	0,1865	OK	50,27518285	-22,99153582	18,34339683	84,79969479	
campione 6*	0,3856	0,4785	75,19	93,3	26,49	0,933	OK	97,34922032	-35,26500236	46,58274992	64,42468842	
campione 6*	0,3964	0,4556	18,23	20,95	6,81	0,2095	OK	52,89472934	-14,29631171	24,13960728	95,28492055	
campione 6* ondulato	0,3878	0,4725	107,55	131,05	38,75	1,3105	OK	110,9415112	-36,40820914	49,89718128	51,23603452	
campione 6* ondulato	0,4025	0,4529	14,8	16,66	5,32	0,1666	OK	47,82874738	-11,43303755	22,88302532	87,71825566	
campione 4*	0,3472	0,4911	33,37	47,2	15,54	0,472	OK	74,31751685	-43,52490218	31,11654152	130,2841156	
campione 5*	0,3788	0,4931	36,41	47,38	12,31	0,4738	OK	74,43218161	-33,82277574	40,62570402	52,13101499	
campione 7*	0,3933	0,4872	94,35	116,88	28,67	1,1688	OK	106,190673	-37,74439274	57,85065545	79,35373947	
campione 7*	0,3826	0,4842	42,49	53,77	14,79	0,5377	OK	78,32742986	-31,80918836	40,06788434	104,1760908	

CAMPIONE Tappeti in commercio	PUNTO 5									ΔE5
	tristimolo					CIE Lab				
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	L	a	b	
BluOrogel chiuso	0,3761	0,4539	86,28	104,14	39,01	1,0414	101,5792034	-32,22493646	33,37820755	109,655127
A front mod chius	0,3771	0,4939	44,91	58,83	15,37	0,5883	81,19806191	-37,19851989	43,43558368	56,35600834
A retro mod chiuso	0,3868	0,5179	33,21	44,47	8,18	0,4447	72,54153205	-36,42331257	52,05031323	73,03419807
B mod aperto	0,3776	0,4712	63,73	79,52	25,51	0,7952	91,46905904	-34,23014384	38,30318854	124,9143596
B mod aperto	0,3519	0,4651	22,68	29,98	11,8	0,2998	61,63696188	-30,63137157	20,17965872	108,9024382
C mod aperto Orogel	0,3777	0,4742	67,34	84,54	26,4	0,8454	93,68453634	-35,82768342	40,43309012	116,44028
C mod aperto Orogel	0,3614	0,4561	31,11	39,26	15,71	0,3926	68,93918462	-28,33152368	21,39083533	134,5473287
D fronte mod chiuso	0,3452	0,5017	16,3	23,68	7,23	0,2368	55,76596934	-37,0218078	27,18300414	135,2907275
D retro mod chiuso	0,3862	0,4886	79,92	101,13	25,91	1,0113	100,4352978	-39,25420865	52,99793682	109,4911656
D fronte mod chiuso	0,3809	0,4679	64,6	79,36	25,63	0,7936	91,39693213	-31,97593304	37,94871277	98,8999532
D retro mod chiuso	0,3379	0,4524	18,43	24,68	11,44	0,2468	56,76229259	-29,93690589	12,94305527	142,2308712
E mod aperto	0,376	0,493	48,63	63,76	16,95	0,6376	83,84065588	-38,32669845	43,87573716	103,1630013
E mod aperto	0,3468	0,4495	19,34	25,07	11,36	0,2507	57,14356106	-26,98589144	13,86328756	124,7584428
F mod aperto	0,3881	0,4923	88,31	112	27,21	1,12	104,4658632	-40,97425415	57,51630388	52,20876517
F mod aperto	0,374	0,4753	37,77	48	15,23	0,48	74,82492928	-31,13759743	32,82551244	59,46360186
G mod aperto	0,3881	0,4765	117,54	144,35	41,01	1,4435	115,0982573	-38,97693375	53,84098015	78,84667498
G mod aperto	0,3598	0,461	19,07	24,44	9,5	0,2444	56,52566558	-25,6704089	19,29260706	123,9311665
H mod aperto	0,3816	0,4857	42,14	53,64	14,65	0,5364	78,25134988	-32,51313092	40,32466812	86,78007932
H mod aperto	0,3632	0,4709	19,23	24,93	8,78	0,2493	57,00715341	-26,94553173	22,86486645	69,98945179
I retro mod chiuso	0,3711	0,4919	29,12	38,59	10,75	0,3859	68,45322698	-33,59847961	35,40888878	52,83040785
I retro mod chiuso	0,3712	0,4981	17,41	23,37	6,13	0,2337	55,45142479	-29,61987995	31,80897023	55,82993093
I fronte mod chiuso	0,3568	0,4666	8,52	11,14	4,22	0,1114	39,81527294	-21,22461124	15,54378157	49,78735212
M retro mod chiuso	0,3724	0,4786	47,95	61,62	19,18	0,6162	82,71092476	-35,29297903	36,53309522	126,7562879
M fronte mod chiuso	0,3602	0,4363	22,61	27,39	12,77	0,2739	59,33359044	-21,01613695	13,17510064	139,5021599
N fronte mod aperto	0,3782	0,479	8,8	11,15	3,32	0,1115	39,83196911	-18,9194431	21,77304838	36,33914554
N fronte mod aperto	0,3862	0,4998	41,91	54,24	12,36	0,5424	78,60146955	-34,70347044	47,65824725	52,57021592
O mod aperto	0,372	0,4627	37,11	46,16	16,5	0,4616	73,64923527	-28,18123278	27,44959171	95,64878664
O mod aperto	0,3797	0,4636	83,25	101,64	34,37	1,0164	100,630698	-33,75837449	38,742341	103,6021559
P mod aperto	0,3898	0,4828	77,69	96,24	25,39	0,9624	98,52752109	-35,37451878	50,70379253	63,12435161
P mod aperto	0,3745	0,4877	24,74	32,22	9,11	0,3222	63,52429626	-29,82752121	32,82660664	95,00118552
simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato										
<b>CAMPIONI</b>										
campione 1*	0,3455	0,4223	22,61	27,63	15,19	0,2763	59,55298328	-21,96179574	6,603021674	110,9021504
campione 1*	0,3595	0,4779	30,81	40,96	13,93	0,4096	70,14788875	-34,63074259	28,38844422	104,5303643
campione 2*	0,383	0,4656	93,43	113,59	36,95	1,1359	105,0332483	-34,34989133	42,36838082	47,01418788
campione 2*	0,368	0,4639	30,66	38,66	14,01	0,3866	68,50426054	-28,09343498	25,32504874	69,05052151
campione 6*	0,3969	0,4773	57,56	69,22	18,25	0,6922	86,61287462	-27,61525107	45,4567554	67,33082103
campione 6*	0,3989	0,4484	13,01	14,63	4,98	0,1463	45,12320212	-10,86191536	20,11624943	102,7291022
campione 6* ondulato	0,3868	0,4721	99,99	122,04	36,46	1,2204	107,9629936	-35,82911683	48,15809274	51,47359719
campione 6* ondulato	0,3938	0,4856	14,32	17,65	4,38	0,1765	49,06881422	-19,66025152	30,49101455	87,49141782
campione 4*	0,3486	0,4898	21,36	30,02	9,9	0,3002	61,67147487	-36,79632068	26,70081578	128,2429836
campione 5*	0,3822	0,4735	65,56	81,23	24,74	0,8123	92,23394136	-33,45952272	41,11599578	43,78238714
campione 7*	0,3863	0,4859	99,22	124,79	32,82	1,2479	108,8871968	-41,0956461	55,45576805	79,01648702
campione 7*	0,3834	0,4675	51,81	63,18	20,16	0,6318	83,53699601	-28,65261504	35,7186464	99,25133569





CAMPIONE Tappeti in commercio	PUNTO 7										$\Delta E_7$
	tristimolo					CIELab					
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	esito	L	a	b	
BluOrogel chiuso	0,3816	0,4513	77,84	92,05	34,07	0,9205	OK	96,8407386	-27,80915368	32,68165454	107,1135469
A front mod chius	0,3788	0,5263	23,07	32,06	5,78	0,3206	OK	63,39244227	-36,46542552	47,27378367	70,10683427
A retro mod chiuso	0,3822	0,499	53,84	70,28	16,73	0,7028	OK	87,13401065	-38,99457642	50,11127826	64,19096634
B mod aperto	0,3724	0,4824	51,07	66,15	19,91	0,6615	OK	85,07287176	-37,18815018	38,93078918	126,4466357
B mod aperto	0,3493	0,4625	19,57	25,92	10,55	0,2592	OK	57,96103642	-29,37117544	18,00659922	108,1979996
C mod aperto Orogel	0,3754	0,4733	53,15	67,01	21,42	0,6701	OK	85,50899512	-33,73012299	36,3444768	123,2242719
C mod aperto Orogel	0,3692	0,4417	27,71	33,15	14,2	0,3315	OK	64,28218183	-21,04138667	17,50389309	138,3367624
D fronte mod chiuso	0,381	0,4826	96,63	122,38	34,6	1,2238	OK	108,078006	-41,97229058	51,22120065	93,50190785
D retro mod chiuso	0,3613	0,4651	27,02	34,77	12,98	0,3477	OK	65,5692031	-29,30920078	23,28987273	133,6091998
D fronte mod chiuso	0,3619	0,4469	46,03	56,84	24,31	0,5684	OK	80,08951743	-29,2728028	21,02519868	105,5619321
D retro mod chiuso	0,3508	0,4593	26,88	35,19	14,55	0,3519	OK	65,89632458	-31,27678989	19,30152768	133,646919
E mod aperto	0,3622	0,4761	34,84	45,81	15,56	0,4581	OK	73,42207704	-34,66072587	29,51924781	109,1463788
E mod aperto	0,3539	0,4501	20,51	26,09	11,36	0,2609	OK	58,12237885	-25,50491514	15,55090444	123,6017377
F mod aperto	0,3908	0,4807	106,56	131,08	35,05	1,3108	OK	110,951197	-38,02195691	55,47263978	46,79427768
F mod aperto	0,3688	0,4731	35,04	44,96	15,02	0,4496	OK	72,86554801	-31,59195476	30,01877066	61,71941902
G mod aperto	0,389	0,4714	112,76	136,66	40,48	1,3666	OK	112,7276363	-35,98932058	50,49869928	78,08295395
G mod aperto	0,3655	0,4601	31,02	39,05	14,79	0,3905	OK	68,78746848	-28,00362292	23,61967507	112,4703635
H mod aperto	0,3883	0,479	101,25	124,88	34,59	1,2488	OK	108,9172129	-37,85698048	52,68378562	108,4417637
H mod aperto	0,3379	0,4418	5,41	7,08	3,53	0,0708	OK	31,98834161	-18,304804	6,71099946	63,40232573
I retro mod chiuso	0,3631	0,4892	12,87	17,34	5,23	0,1734	OK	48,68561133	-27,12646997	24,8547158	58,96923066
I retro mod chiuso	0,3608	0,4702	6,33	8,25	2,97	0,0825	OK	34,49820861	-18,99005423	15,29227493	64,52095928
I fronte mod chiuso	0,3658	0,4676	13,48	17,24	6,14	0,1724	OK	48,56102394	-22,67420864	19,87930401	44,68023879
M retro mod chiuso	0,3834	0,4813	108,54	136,23	38,29	1,3623	OK	112,5924808	-41,96207585	53,41494629	105,0807287
M fronte mod chiuso	0,3747	0,4195	20,89	23,38	11,47	0,2338	OK	55,46161467	-12,23157689	10,6022458	143,0841912
N fronte mod aperto	0,3653	0,4912	7,44	10	2,92	0,1	OK	37,84243047	-22,41143212	21,46322622	39,26650011
N fronte mod aperto	0,3855	0,4856	52,47	66,08	17,54	0,6608	OK	85,03720737	-33,42605846	44,46749022	50,69446148
O mod aperto	0,3752	0,4862	45,26	58,65	16,71	0,5865	OK	81,09882952	-35,78163118	39,75670285	109,9437826
O mod aperto	0,3757	0,4735	75,77	95,49	30,42	0,9549	OK	98,22923992	-37,89559688	41,07584318	106,2328758
P mod aperto	0,3957	0,4631	166,81	195,2	59,53	1,952	OK	128,9721547	-33,66074271	54,98643756	39,77422111
P mod aperto	0,3876	0,4921	47,26	60	14,67	0,6	OK	81,83818918	-33,41182428	46,4533006	77,6765373
simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato											
CAMPIONI											
campione 1*	0,353	0,4178	30,38	35,96	19,72	0,3596	OK	66,4893504	-20,43489324	7,322102824	103,8618207
campione 1*	0,3727	0,5089	40,67	55,53	12,91	0,5553	OK	79,34557607	-41,62700408	47,25356704	103,3495959
campione 2*	0,3896	0,4795	84,59	104,11	28,44	1,0411	OK	101,5679119	-35,29532754	50,29014025	53,9001108
campione 2*	0,36	0,4588	15,22	19,39	7,66	0,1939	OK	51,1404002	-23,23626036	17,33051257	84,02735737
campione 6*	0,3904	0,4933	67,01	84,68	19,96	0,8468	OK	93,74504957	-36,80344477	53,76962748	68,54816729
campione 6*	0,3901	0,4858	31,37	39,07	9,99	0,3907	OK	68,80194104	-26,80155795	38,67080704	82,94359319
campione 6* ondulato	0,3874	0,4698	94,32	114,37	34,77	1,1437	OK	105,3096537	-33,99872304	46,18213984	50,66181929
campione 6* ondulato	0,3909	0,4898	20,1	25,19	6,13	0,2519	OK	57,26007828	-23,76026772	34,92733832	81,0564449
campione 4*	0,331	0,4822	19,69	28,68	11,11	0,2868	OK	60,49816863	-39,7167236	20,4766119	123,1116984
campione 5*	0,3824	0,4787	64,21	80,39	23,33	0,8039	OK	91,85956525	-34,83901287	43,28879615	46,33170687
campione 7*	0,3909	0,4825	101,77	125,61	32,95	1,2561	OK	109,160146	-38,04860999	55,7155706	77,08504216
campione 7*	0,3943	0,4608	23,12	27,02	8,5	0,2702	OK	58,99283482	-217,0509463	27,3953201	251,3858518

CAMPIONE Tappeti in commercio	PUNTO 8								ΔE8	
	tristimolo					CIELab				
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	L	a		b
BluOrogel chiuso	0,3845	0,4491	89,37	104,38	38,7	1,0438	101,6695	-27,0148	33,98359	108,466
A front mod chius	0,3786	0,5076	35,87	40,1	10,79	0,401	69,5407	-14,5074	37,14732	53,8212
A retro mod chiuso	0,3822	0,4865	59,98	76,36	20,61	0,7636	90,02622	-36,5961	45,90326	58,57139
B mod aperto	0,3618	0,5102	34,04	48,01	12,04	0,4801	74,83124	-43,4404	42,16288	132,0824
B mod aperto	0,3584	0,4656	29,13	37,85	14,31	0,3785	67,90992	-31,2188	23,44719	109,9509
C mod aperto Orogel	0,386	0,4756	89,64	110,47	32,14	1,1047	103,9148	-36,2099	47,99448	108,555
C mod aperto Orogel	0,3573	0,4577	32,73	41,94	16,95	0,4194	70,82953	-30,7153	21,44277	133,0286
D fronte mod chiuso	0,3682	0,4784	41,09	53,38	17,12	0,5338	78,09882	-34,986	33,54864	114,1587
D retro mod chiuso	0,3893	0,4811	104,47	129,11	34,78	1,2911	110,312	-38,6177	54,79125	101,4701
D fronte mod chiuso	0,3491	0,4562	28,76	37,59	16,05	0,3759	67,71734	-31,7938	18,38848	117,7879
D retro mod chiuso	0,3721	0,4137	27,09	30,11	15,59	0,3011	61,74902	-12,5648	9,31322	136,367
E mod aperto	0,3716	0,4719	54,24	68,88	22,85	0,6888	86,44459	-35,0211	34,93791	97,68263
E mod aperto	0,3574	0,4562	20,61	26,31	10,75	0,2631	58,33014	-25,2899	17,95529	123,4916
F mod aperto	0,3937	0,4849	83,62	102,98	25,78	1,0298	101,141	-35,2643	54,4622	47,96005
F mod aperto	0,3691	0,4879	23,86	31,54	9,24	0,3154	62,96086	-31,1543	31,36146	69,20247
G mod aperto	0,3872	0,485	85,73	107,38	28,28	1,0738	102,7861	-38,4378	52,6769	88,10876
G mod aperto	0,3776	0,4763	61,9	78,08	23,96	0,7808	90,8164	-35,5631	40,21735	96,02231
H mod aperto	0,3889	0,4673	87,04	104,59	32,17	1,0459	101,7483	-31,5645	44,20979	96,31507
H mod aperto	0,3594	0,4673	10,15	13,19	4,9	0,1319	43,04814	-21,9785	16,99762	67,24737
I retro mod chiuso	0,3665	0,4933	22,78	30,66	8,72	0,3066	62,21956	-32,6964	32,08696	54,27943
I retro mod chiuso	0,3703	0,4863	13,68	17,97	5,3	0,1797	49,4597	-25,2899	25,80438	55,992
I fronte mod chiuso	0,36	0,4819	11,44	15,31	5,02	0,1531	46,0559	-25,4817	21,49666	48,47407
M retro mod chiuso	0,3831	0,4609	90,58	108,99	36,9	1,0899	103,3769	-32,217	39,58761	106,9238
M fronte mod chiuso	0,3693	0,4454	30,86	37,21	15,48	0,3721	67,43428	-22,7521	19,40947	131,4939
N fronte mod aperto	0,3662	0,4867	9,04	12,02	3,63	0,1202	41,24789	-23,0248	21,96449	37,09986
N fronte mod aperto	0,383	0,5122	38,01	50,83	10,4	0,5083	76,57592	-37,9233	50,62272	56,58669
O mod aperto	0,3152	0,4029	6,17	7,88	5,52	0,0788	33,73171	-17,3744	-2,50111	75,47914
O mod aperto	0,3838	0,4676	83,93	102,26	32,47	1,0226	100,8674	-33,5051	42,19879	106,8417
P mod aperto	0,3952	0,4793	118,26	143,43	37,55	1,4343	114,8191	-36,7018	58,34527	51,76254
P mod aperto	0,3787	0,4892	40,44	52,25	14,12	0,5225	77,43009	-34,0682	40,40019	82,44735
simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato										
CAMPIONI										
campione 1*	0,3677	0,4319	54,1	63,54	29,47	0,6354	83,72569	-23,6518	17,70951	87,77086
campione 1*	0,367	0,5139	32,77	45,88	10,64	0,4588	73,4676	-41,9464	44,43153	107,6322
campione 2*	0,3859	0,4606	126,54	151,07	50,33	1,5107	117,1018	-34,5141	45,13094	42,81522
campione 2*	0,3573	0,4635	14,86	19,27	7,45	0,1927	51,00161	-24,7533	17,99904	84,51036
campione 6*	0,382	0,4778	53,34	66,72	19,58	0,6672	85,36235	-32,6174	40,18175	71,53896
campione 6*	0,3864	0,4649	14,51	17,46	5,59	0,1746	48,83449	-17,5018	23,1667	100,1762
campione 6* ondulato	0,409	0,4908	35,19	42,23	8,62	0,4223	71,02921	-23,1759	47,67038	65,15147
campione 6* ondulato	0,3758	0,4818	18,65	23,9	7,07	0,239	55,98753	-25,4731	28,28256	84,103
campione 4*	0,3741	0,4719	71,78	90,53	29,55	0,9053	96,21618	-37,3403	39,1054	134,8531
campione 5*	0,3845	0,4805	44,56	55,69	15,65	0,5569	79,43706	-30,6023	39,65003	46,96563
campione 7*	0,3933	0,4779	108,01	131,25	35,39	1,3125	111,0061	-35,9593	55,04054	74,44736
campione 7*	0,3984	0,4634	24,6	28,62	8,54	0,2862	60,44479	-17,1452	29,73909	119,4528



CAMPIONE Tappeti in commercio	PUNTO 9									ΔE9
	tristimolo					CIELab				
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	L	a	b	
BluOrogel chiuso	0,3838	0,4433	81,45	94,08	36,68	0,9408	97,66422	-24,3764	30,06923	103,6037
A front mod chius	0,3809	0,4803	64,81	81,71	23,62	0,8171	92,44671	-36,0344	43,71238	50,17074
A retro mod chiuso	0,366	0,5042	22,57	31,09	8	0,3109	62,58354	-35,2037	35,62479	71,14001
B mod aperto	0,3754	0,4819	64,21	82,43	24,42	0,8243	92,76431	-38,7388	42,66045	129,7291
B mod aperto	0,355	0,4673	29,29	38,55	14,66	0,3855	68,42404	-32,8309	23,35323	109,8532
C mod aperto Orogel	0,3781	0,4794	50,55	64,09	19,05	0,6409	84,01261	-33,9751	39,08003	125,1349
C mod aperto Orogel	0,3658	0,4531	39,64	49,11	19,63	0,4911	75,51971	-28,2809	23,09723	128,0874
D fronte mod chiuso	0,3742	0,4716	61,94	78,06	25,52	0,7806	90,80728	-35,4323	37,14298	102,8658
D retro mod chiuso	0,3685	0,5141	39,18	54,66	12,48	0,5466	78,84502	-44,0362	47,70575	128,3619
D fronte mod chiuso	0,3719	0,4682	52,17	65,69	22,44	0,6569	84,83804	-33,3354	33,02058	103,9409
D retro mod chiuso	0,3519	0,4916	40,46	56,52	17,99	0,5652	79,90886	-44,6917	34,52538	124,5828
E mod aperto	0,381	0,4689	51,32	63,15	20,22	0,6315	83,52124	-29,8509	35,55679	99,84808
E mod aperto	0,3578	0,4614	28,21	36,38	14,25	0,3638	66,80926	-29,9908	21,71917	115,8807
F mod aperto	0,3908	0,4891	70,29	87,98	21,61	0,8798	95,15252	-35,8656	52,56243	51,25441
F mod aperto	0,3754	0,495	37,28	49,16	12,87	0,4916	75,55076	-35,8313	40,83188	61,36129
G mod aperto	0,3891	0,4688	113,98	137,32	41,63	1,3732	112,9345	-35,0165	47,01606	77,01606
G mod aperto	0,369	0,469	45,34	57,62	19,9	0,5762	80,52706	-33,0917	31,11584	103,0353
H mod aperto	0,389	0,4633	112,95	134,53	42,87	1,3453	112,0553	-32,8002	46,02975	102,5651
H mod aperto	0,3611	0,452	14,56	18,22	7,54	0,1822	49,76186	-21,1986	15,47042	63,22332
I retro mod chiuso	0,3666	0,4983	21,95	29,84	8,09	0,2984	61,51592	-33,407	33,41098	55,84566
I retro mod chiuso	0,3692	0,472	7,88	10,07	3,39	0,1007	37,96777	-18,8974	18,03903	61,91004
I fronte mod chiuso	0,3723	0,485	15,34	19,99	5,88	0,1999	51,8259	-25,4933	26,81765	47,17823
M retro mod chiuso	0,3877	0,4707	137,23	166,61	50,09	1,6661	121,5176	-38,7724	53,03785	96,17128
M fronte mod chiuso	0,3677	0,4436	33,56	40,49	17,22	0,4049	69,81712	-23,4716	19,01976	129,1908
N fronte mod aperto	0,3661	0,4773	14,59	19,02	6,24	0,1902	50,7106	-25,1079	23,09176	32,41724
N fronte mod aperto	0,3797	0,4972	33,69	44,11	10,93	0,4411	72,30196	-33,7354	41,43297	46,51269
O mod aperto	0,3077	0,4065	6,49	8,57	6,02	0,0857	35,14285	-20,1087	-2,6559	75,29695
O mod aperto	0,3852	0,4576	77,41	91,96	31,59	0,9196	96,80395	-28,4966	36,64519	99,5201
P mod aperto	0,3959	0,4733	126,02	150,65	41,63	1,5065	116,9784	-34,7215	56,21917	48,54767
P mod aperto	0,3797	0,4783	16,05	20,22	6	0,2022	52,08504	-22,5551	26,65548	105,2841
simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato										
CAMPIONI										
campione 1*	0,3679	0,4555	45,89	56,82	22,03	0,5682	80,07825	-29,6148	25,67706	93,60662
campione 1*	0,352	0,4788	21,28	28,94	10,23	0,2894	60,72864	-33,1049	23,89695	112,5336
campione 2*	0,3801	0,4834	83,65	106,39	30,05	1,0639	102,42	-40,7208	48,93577	55,98217
campione 2*	0,3674	0,4757	22,92	29,68	9,79	0,2968	61,37713	-28,4428	26,5919	75,96951
campione 6*	0,3874	0,4835	95,6	119,32	31,88	1,1932	107,0351	-39,2344	53,80358	62,16944
campione 6*	0,4033	0,452	24,05	26,96	8,63	0,2696	58,93728	-12,9928	26,78267	88,69974
campione 6* ondulato	0,3968	0,5032	28,88	36,62	7,28	0,3662	66,99096	-28,2059	46,31437	71,26314
campione 6* ondulato	0,3959	0,4779	14,1	17,02	4,5	0,1702	48,28523	-17,6252	28,40062	87,89237
campione 4*	0,3232	0,4667	14,57	21,04	9,47	0,2104	52,99324	-35,0669	13,31366	118,584
campione 5*	0,3776	0,4904	29,96	38,91	10,48	0,3891	68,68602	-31,4548	36,7407	52,56869
campione 7*	0,3893	0,503	44,87	57,87	12,41	0,5787	80,66646	-35,0205	51,06311	101,2567
campione 7*	0,3821	0,4601	62,38	75,11	25,77	0,7511	89,44449	-28,5544	34,31488	94,21443



CAMPIONE Tappeti in commercio	PUNTO 11									ΔE11
	tristimolo					CIELab				
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	L	a	b	
BluOrogel chiuso	0,3775	0,453	61,05	73,25	27,41	0,7325	88,56681	-27,8203	29,73708	104,191
A front mod chiuso	0,3788	0,5042	30,25	40,27	9,34	0,4027	69,66141	-34,5862	42,53749	62,16073
A retro mod chiuso	0,3697	0,5013	19,11	25,92	6,67	0,2592	57,96104	-31,6569	33,52768	72,88768
B mod aperto	0,3672	0,4775	33,71	43,83	14,25	0,4383	72,11472	-32,8597	30,86652	120,2068
B mod aperto	0,3331	0,4491	13,56	18,28	8,86	0,1828	49,83397	-27,6564	10,1854	104,6922
C mod aperto Orogel	0,3722	0,4812	42,3	54,68	16,65	0,5468	78,85659	-34,6495	36,04374	129,8252
C mod aperto Orogel	0,3514	0,4468	19,02	24,18	10,92	0,2418	56,26756	-24,8089	13,82126	146,7126
D fronte mod chiuso	0,3648	0,4735	40,55	52,65	17,98	0,5265	77,6679	-34,7593	30,68591	114,0259
D retro mod chiuso	0,39	0,4693	111,38	134,03	40,21	1,3403	111,8965	-34,5322	49,44774	96,84402
D fronte mod chiuso	0,3449	0,4535	23,49	30,88	13,73	0,3088	62,4062	-30,3701	15,61846	122,593
D retro mod chiuso	0,3392	0,4334	17,03	21,76	11,42	0,2176	53,77143	-24,4187	7,851997	144,68
E mod aperto	0,3787	0,4897	77,87	100,69	27,06	1,0069	100,2662	-42,5151	50,55197	92,02232
E mod aperto	0,3543	0,448	19,5	24,65	10,87	0,2465	56,7328	-24,4225	14,79272	124,8507
F mod aperto	0,3862	0,4814	74,33	92,65	25,49	0,9265	97,08538	-35,8627	48,02492	49,52979
F mod aperto	0,3689	0,4851	27,9	36,68	11,04	0,3668	67,03626	-32,1713	31,98367	66,33968
G mod aperto	0,3914	0,4719	135,51	163,4	47,32	1,634	120,6287	-37,2652	54,9627	74,59515
G mod aperto	0,3618	0,4284	20,16	23,87	11,69	0,2387	55,9574	-17,855	10,74165	123,6168
H mod aperto	0,3916	0,4758	63,66	77,34	21,56	0,7734	90,47788	-30,1149	44,61005	92,54388
H mod aperto	0,3315	0,4134	4,3	5,37	3,31	0,0537	27,76391	-13,9894	1,040908	61,0607
I retro mod chiuso	0,3782	0,4589	82,02	99,54	35,34	0,9954	99,82186	-32,5931	35,83469	42,89802
I retro mod chiuso	0,3693	0,4791	20,86	27,06	8,56	0,2706	59,02982	-27,7534	27,21988	49,93704
I fronte mod chiuso	0,3673	0,4504	22,61	27,73	11,23	0,2773	59,64402	-22,3542	18,60424	35,57832
M retro mod chiuso	0,386	0,4747	127,1	156,29	45,86	1,5629	118,6176	-40,2531	53,37206	99,27061
M retro mod chiuso	0,3652	0,4349	25,71	30,62	14,07	0,3062	62,18553	-20,0193	14,25909	136,5501
N fronte mod aperto	0,3773	0,479	40,21	51,04	15,32	0,5104	76,70323	-31,6354	35,82064	40,77893
N fronte mod aperto	0,3839	0,4914	53,65	68,67	17,43	0,6867	86,34038	-36,0514	46,98611	54,51177
O mod aperto	0,3621	0,4804	28,73	38,1	12,49	0,381	68,09425	-33,5329	29,13901	99,12704
O mod aperto	0,3712	0,4633	42,29	52,78	18,86	0,5278	77,74493	-29,8874	28,71853	89,34588
P mod aperto	0,3923	0,4786	120,95	147,56	39,79	1,4756	116,0629	-38,0957	57,22889	51,68246
P mod aperto	0,3861	0,4776	14,54	17,98	5,13	0,1798	49,47184	-20,0686	26,76625	107,3014
simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato										
<b>CAMPIONI</b>										
campione 1*	0,3476	0,4318	21,59	26,82	13,7	0,2682	58,80735	-23,3852	9,500686	111,8189
campione 1*	0,3609	0,5051	28,91	40,46	10,73	0,4046	69,79592	-40,1821	37,79225	108,4391
campione 2*	0,384	0,5017	63,21	82,57	18,8	0,8257	92,82585	-41,2484	54,86121	65,09235
campione 2*	0,3668	0,4462	14,03	17,07	7,16	0,1707	48,34812	-18,3264	14,70621	85,8877
campione 6*	0,3891	0,4672	115,53	138,72	42,67	1,3872	113,3712	-34,549	48,57069	54,33534
campione 6*	0,3802	0,4728	21,21	26,38	8,2	0,2638	58,396	-23,3771	27,57954	92,36926
campione 6* ondulato	0,3889	0,4987	36,23	46,45	10,47	0,4645	73,83658	-31,8431	45,65574	68,05476
campione 6* ondulato	0,3721	0,4898	29,5	38,84	10,95	0,3884	68,63521	-32,9518	35,04343	76,21178
campione 4*	0,3403	0,4643	31,49	42,96	18,08	0,4296	71,52781	-38,1196	19,8575	119,2213
campione 5*	0,3733	0,5063	23,72	32,17	7,65	0,3217	63,48314	-34,0115	38,65395	58,4809
campione 7*	0,3994	0,4821	132,38	159,81	39,28	1,5981	119,6207	-37,2007	64,09443	68,05978
campione 7*	0,3764	0,4614	40,1	49,15	17,28	0,4915	75,54455	-26,9769	28,74506	107,8672





CAMPIONE Tappeti in commercio	PUNTO 13									ΔE13
	tristimolo					CIELab				
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	L	a	b	
BluOrogel chiuso	0,3658	0,4425	33,33	40,32	17,47	0,4032	69,69684	-23,7464	18,1914	94,30738
A front mod chius	0,3713	0,5045	42,11	57,21	14,08	0,5721	80,29756	-41,4217	45,45819	60,35378
A retro mod chiuso	0,3793	0,473	71,51	89,17	27,84	0,8917	95,65142	-35,4663	41,16874	51,88184
B mod aperto	0,3745	0,496	56,22	74,47	19,45	0,7447	89,14415	-41,7691	47,0006	134,6897
B mod aperto	0,3584	0,4657	22,08	28,69	10,84	0,2869	60,50706	-28,466	21,40192	110,3026
C mod aperto Orogel	0,3755	0,4781	60,68	77,26	23,66	0,7726	90,44115	-36,7554	40,17369	119,7075
C mod aperto Orogel	0,3369	0,4102	9,91	12,06	7,44	0,1206	41,31132	-16,3396	1,335306	161,8196
D fronte mod chiuso	0,3584	0,4674	31,86	41,56	15,49	0,4156	70,5665	-32,6529	24,78304	119,8077
D retro mod chiuso	0,369	0,474	28,97	37,21	12,33	0,3721	67,43428	-29,7748	28,49796	132,4804
D fronte mod chiuso	0,3706	0,4654	44,67	56,1	19,77	0,561	79,6707	-31,2963	29,93465	107,8206
D retro mod chiuso	0,3612	0,4486	27,73	34,43	14,6	0,3443	65,30246	-25,3609	18,13814	133,5407
E mod aperto	0,3785	0,4679	83,52	103,24	33,9	1,0324	101,2395	-35,8761	40,53542	85,57922
E mod aperto	0,3577	0,4642	33,37	43,3	16,61	0,433	71,75812	-32,493	23,90718	111,6484
F mod aperto	0,3915	0,4749	105,84	128,37	36,12	1,2837	110,0702	-35,374	52,30751	43,89059
F mod aperto	0,3681	0,4992	23,76	32,22	8,56	0,3222	63,5243	-34,0155	34,96898	69,89059
G mod aperto	0,3863	0,4982	61,34	79,12	18,34	0,7912	91,28856	-38,8834	53,30253	98,33466
G mod aperto	0,3709	0,462	45,66	56,88	20,57	0,5688	80,11205	-30,404	28,89849	102,4993
H mod aperto	0,4016	0,4581	130,06	148,37	45,46	1,4837	116,3041	-26,1216	49,90451	106,0682
H mod aperto	0,3538	0,4688	20,42	27,06	10,24	0,2706	59,02982	-29,847	20,93265	68,96843
I retro mod chiuso	0,3693	0,4814	18,69	24,37	7,56	0,2437	56,45636	-27,2904	26,92616	53,53765
I retro mod chiuso	0,3641	0,4758	7,1	9,28	3,12	0,0928	36,5179	-19,946	17,58597	63,34195
I fronte mod chiuso	0,3661	0,4834	18,38	24,27	7,56	0,2427	56,35712	-28,4472	26,75505	45,45688
M retro mod chiuso	0,3876	0,4798	92,34	114,3	31,59	1,143	105,2849	-37,3372	51,26751	109,6003
M fronte mod chiuso	0,3577	0,4588	28,07	36,01	14,4	0,3601	66,52756	-29,3184	20,81022	133,1963
N fronte mod aperto	0,3809	0,4805	33,43	42,17	12,17	0,4217	70,98797	-28,9663	35,12614	37,8867
N fronte mod aperto	0,3845	0,4681	88,3	107,5	33,85	1,075	102,8304	-33,9428	43,35779	57,75937
O mod aperto	0,372	0,4702	43,79	55,35	18,58	0,5535	79,24244	-31,9694	31,96147	101,2418
O mod aperto	0,379	0,4578	87,17	105,31	37,53	1,0531	102,0179	-32,4896	36,30383	101,4127
P mod aperto	0,3909	0,4986	66,67	85,03	18,86	0,8503	93,89604	-38,1933	56,56527	68,87584
P mod aperto	0,383	0,475	50,97	63,22	18,89	0,6322	83,558	-30,9188	38,67062	75,86085
simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato										
CAMPIONI										
campione 1*	0,3598	0,4523	37,94	47,69	19,82	0,4769	74,62898	-29,7532	21,12831	98,10328
campione 1*	0,3566	0,4903	27,62	37,97	11,85	0,3797	67,9985	-37,4122	30,98749	107,745
campione 2*	0,3857	0,5049	34,69	45,41	9,84	0,4541	73,16105	-34,0397	46,72746	72,10187
campione 2*	0,3783	0,4811	37,3	47,44	13,86	0,4744	74,47034	-31,1101	36,04253	66,61656
campione 6*	0,3861	0,4933	47,24	60,36	14,76	0,6036	82,03348	-34,3084	46,54054	75,03972
campione 6*	0,3775	0,4755	30,81	38,81	11,99	0,3881	68,61341	-28,0166	31,60113	84,46913
campione 6* ondulato	0,3966	0,4802	91,8	111,14	28,51	1,1114	104,1567	-33,4226	54,62869	51,54932
campione 6* ondulato	0,3966	0,4904	23	28,44	6,55	0,2844	60,28419	-23,3773	38,10019	77,82508
campione 4*	0,344	0,4856	21,12	29,8	10,45	0,298	61,48127	-37,0968	24,42308	126,179
campione 5*	0,3924	0,494	47,13	59,34	13,64	0,5934	81,47813	-32,2162	48,76291	53,17445
campione 7*	0,3919	0,4761	110,06	133,68	37,07	1,3368	111,7851	-36,1015	53,82962	73,95444
campione 7*	0,388	0,4743	24,26	29,65	8,61	0,2965	61,35105	-22,4972	31,02351	119,3526

CAMPIONE Tappeti in commercio	PUNTO 14									ΔE14
	tristimolo					CIE Lab				
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	L	a	b	
BluOrogel chiuso	0,3777	0,4494	89,71	106,74	41,09	1,0674	102,5497	-30,2007	32,09361	107,8451
A front mod chius	0,377	0,5126	20,85	28,35	6,11	0,2835	60,20363	-32,8602	40,10192	67,40974
A retro mod chiuso	0,3831	0,4707	67,93	83,46	25,93	0,8346	93,21546	-32,5334	40,51193	51,15808
B mod aperto	0,3815	0,4695	69,95	86,02	27,32	0,8602	94,3209	-32,9969	39,82288	126,1526
B mod aperto	0,3042	0,4125	6,07	8,23	5,65	0,0823	34,45737	-21,5723	-1,93736	103,3051
C mod aperto Orogel	0,3739	0,47	32,49	40,85	13,56	0,4085	70,0707	-28,2863	29,32864	136,7163
C mod aperto Orogel	0,3751	0,4731	45,51	57,39	18,42	0,5739	80,39845	-32,0593	34,3353	124,8781
D fronte mod chiuso	0,3633	0,4711	44,05	57,11	20,07	0,5711	80,24142	-35,5276	30,23916	111,6002
D retro mod chiuso	0,3783	0,4719	74,35	92,75	29,44	0,9275	97,12605	-35,9975	40,86593	107,5742
D fronte mod chiuso	0,3797	0,4715	50,27	62,42	19,71	0,6242	83,13627	-30,9323	36,0465	105,9346
D retro mod chiuso	0,3499	0,4536	36,58	47,42	20,54	0,4742	74,45762	-33,3793	19,21602	125,4768
E mod aperto	0,3561	0,489	19,2	26,37	8,35	0,2637	58,3866	-33,0411	26,95307	123,1634
E mod aperto	0,3612	0,4459	20,33	25,06	10,81	0,2506	57,13383	-22,1065	15,68805	124,2181
F mod aperto	0,3951	0,4667	125,94	148,79	44,05	1,4879	116,4288	-32,4668	51,98136	39,36614
F mod aperto	0,4007	0,4974	29,86	37,06	7,59	0,3706	67,32202	-25,947	45,5306	62,12764
G mod aperto	0,3874	0,4684	114,59	138,57	42,67	1,3857	113,3246	-35,7704	48,49026	76,58463
G mod aperto	0,3668	0,4386	33,61	40,19	17,83	0,4019	69,60464	-22,3838	17,14853	110,4713
H mod aperto	0,3917	0,4636	128,79	152,44	47,61	1,5244	117,503	-33,0661	49,20531	107,8503
H mod aperto	0,3342	0,441	6,83	9,01	4,59	0,0901	36,00354	-20,3795	6,679357	61,62027
I retro mod chiuso	0,3672	0,4867	31,16	41,3	12,4	0,413	70,3856	-34,3852	33,36855	50,81426
I retro mod chiuso	0,3702	0,4833	13,93	18,19	5,52	0,1819	49,72575	-24,8814	25,07482	55,31657
I fronte mod chiuso	0,3651	0,4564	23,29	29,1	11,38	0,291	60,86978	-24,6231	20,22197	36,75951
M retro mod chiuso	0,3861	0,467	120,13	145,29	45,71	1,4529	115,3822	-36,3647	47,98894	99,0981
M fronte mod chiuso	0,371	0,4598	47,27	58,58	21,56	0,5858	81,06018	-30,031	28,37265	119,3539
N fronte mod aperto	0,4198	0,478	52,4	59,66	12,77	0,5966	81,65303	-19,018	51,6569	49,46091
N fronte mod aperto	0,3931	0,4883	63,26	78,58	19,1	0,7858	91,04392	-33,4548	51,08641	57,75237
O mod aperto	0,3597	0,4841	31,26	42,07	13,58	0,4207	70,91915	-36,3239	30,73298	101,4679
O mod aperto	0,3807	0,4484	86,7	102,12	38,91	1,0212	100,814	-28,1579	32,20373	96,31023
P mod aperto	0,3979	0,4808	123,42	149,12	37,62	1,4912	116,5267	-36,5034	61,18543	50,98018
P mod aperto	0,3779	0,4585	36,55	44,33	15,82	0,4433	72,44852	-24,8168	27,15021	86,50383
simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato										
CAMPIONI										
campione 1*	0,3874	0,4428	37,59	42,97	16,48	0,4297	71,5346	-17,5285	23,85506	100,1154
campione 1*	0,3734	0,5073	41,1	55,85	13,13	0,5585	79,52837	-41,1178	46,90711	102,9116
campione 2*	0,3876	0,4951	51,58	65,89	15,62	0,6589	84,94028	-35,2946	49,21819	64,44653
campione 2*	0,3752	0,4555	44,92	54,53	20,28	0,5453	78,76977	-26,7034	27,23019	59,27208
campione 6*	0,3885	0,4833	92,55	115,13	30,56	1,1513	105,5778	-38,2318	53,50696	62,12056
campione 6*	0,3937	0,4937	77,84	97,61	22,25	0,9761	99,06841	-37,4112	57,95431	66,2205
campione 6* ondulato	0,3969	0,4805	69,85	85,26	20,88	0,8526	93,99504	-31,8032	52,15082	54,82295
campione 6* ondulato	0,3709	0,4876	21,26	27,94	8,11	0,2794	59,83449	-29,3441	30,42943	82,22071
campione 4*	0,3473	0,4786	27,53	37,94	13,8	0,3794	67,97637	-37,6699	25,01935	124,9979
campione 5*	0,3809	0,4854	43,8	55,82	15,37	0,5582	79,51127	-33,0993	40,52731	48,75862
campione 7*	0,3935	0,502	54,32	69,29	14,43	0,6929	86,64745	-35,6957	55,41538	95,76544
campione 7*	0,3806	0,4635	50,56	61,58	20,71	0,6158	82,68956	-28,2461	33,03279	100,563



CAMPIONE Tappeti in commercio	PUNTO 15								ΔE15	
	tristimolo					CIE Lab				
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	L	a		b
BluOrogel chiuso	0,3818	0,4527	85,6	101,5	37,12,00	1,015	100,5771	-29,1557	143,209	214,8813
A front mod chius	0,3875	0,5193	35,14	47,1	8,45	0,471	74,25369	-37,2413	53,90734	67,42101
A retro mod chiuso	0,393	0,4784	120,51	146,71	39,45	1,4671	115,8088	-37,6454	57,27777	60,22247
B mod aperto	0,3657	0,4996	34,31	46,86	12,63	0,4686	74,10013	-39,3712	39,06273	128,5612
B mod aperto	0,3859	0,503	44,23	57,66	12,73	0,5766	80,54939	-36,3391	49,87605	133,2528
C mod aperto Orogel	0,37	0,4814	26,9	35	10,81	0,35	65,74867	-30,5606	30,54121	141,3975
C mod aperto Orogel	0,3599	0,4559	28,1	35,6	14,38	0,356	66,21316	-27,8469	20,3244	137,1587
D fronte mod chiuso	0,3755	0,4653	64,78	80,27	27,46	0,8027	91,80587	-33,3367	39,23018	101,0483
D retro mod chiuso	0,3596	0,4824	28,08	37,66	12,34	0,3766	67,76928	-34,6318	29,04435	132,9006
D fronte mod chiuso	0,3702	0,471	50,92	64,78	21,85	0,6478	84,37024	-34,5501	33,45932	104,7273
D retro mod chiuso	0,3573	0,4384	26,05	31,97	14,9	0,3197	63,31808	-23,5098	13,88659	135,1659
E mod aperto	0,3738	0,4706	56,22	70,78	23,39	0,7078	87,37801	-34,1565	35,43977	96,69662
E mod aperto	0,3526	0,4509	18,07	23,11	10,07	0,2311	55,18546	-24,9995	14,90782	126,454
F mod aperto	0,3899	0,5093	36,09	47,14	9,33	0,4714	74,27923	-34,2094	50,5368	64,23206
F mod aperto	0,3906	0,4635	6,82	8,09	2,55	0,0809	34,16962	-12,5742	18,28234	91,28887
G mod aperto	0,3812	0,4933	52,01	67,3	17,13	0,673	85,65522	-37,2683	46,55186	100,4181
G mod aperto	0,3604	0,451	20,79	26,01	10,88	0,2601	58,04654	-23,8462	17,02389	122,1099
H mod aperto	0,3963	0,4637	96,28	112,66	34	1,1266	104,702	-28,0164	46,34654	98,32738
H mod aperto	0,3455	0,459	7,13	9,47	4,04	0,0947	36,8739	-21,1902	11,6364	65,33418
I retro mod chiuso	0,3762	0,4802	54,2	69,17	20,68	0,6917	86,58816	-35,7399	39,82076	49,52926
I retro mod chiuso	0,3726	0,4769	21,22	27,17	8,58	0,2717	59,13135	-26,5	27,31545	49,43308
I fronte mod chiuso	0,3442	0,4387	5,98	7,62	3,77	0,0762	33,17862	-17,0335	7,077832	52,73296
M retro mod chiuso	0,3865	0,4725	122,95	150,34	44,87	1,5034	116,8871	-38,7366	51,68397	99,70323
M fronte mod chiuso	0,3529	0,4342	18	22,15	10,86	0,2215	54,1858	-21,055	10,43527	144,7566
N fronte mod aperto	0,37	0,4701	30,38	38,59	13,13	0,3859	68,45323	-28,8999	27,81203	32,49138
N fronte mod aperto	0,384	0,4908	49,86	63,72	16,25	0,6372	83,81977	-34,959	45,63028	52,16299
O mod aperto	0,356	0,4712	28,78	38,08	13,96	0,3808	68,07954	-33,2788	24,73613	94,91707
O mod aperto	0,3773	0,4615	76,73	93,86	32,8	0,9386	97,57555	-33,1666	35,9854	100,0989
P mod aperto	0,3954	0,4757	134,64	161,99	43,88	1,6199	120,2346	-36,7494	58,77015	48,15739
P mod aperto	0,3791	0,4727	21,34	26,61	8,34	0,2661	58,61159	-23,7002	27,38144	99,15351
simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato										
<b>CAMPIONI</b>										
campione 1*	0,3577	0,4392	38,82	47,66	22,05	0,4766	74,60997	-26,9023	16,20665	97,0345
campione 1*	0,3621	0,5167	32,28	46,07	10,81	0,4607	73,59093	-44,1996	44,06236	108,0422
campione 2*	0,3845	0,5073	61,27	80,83	17,24	0,8083	92,05599	-42,3524	57,31275	67,55367
campione 2*	0,3535	0,4772	17,61	23,78	8,44	0,2378	55,86685	-30,3487	22,24603	81,48974
campione 6*	0,4001	0,5044	35,3	44,5	8,43	0,445	72,56144	-29,414	51,06997	80,24768
campione 6*	0,4038	0,492	74,72	91,04	19,28	0,9104	96,42651	-32,2343	59,94878	64,85708
campione 6* ondulato	0,3905	0,4738	105,96	128,57	36,8	1,2857	110,1357	-35,4642	51,39099	50,75036
campione 6* ondulato	0,3787	0,4759	21,27	26,73	8,16	0,2673	58,72358	-24,509	28,30831	81,29211
campione 4*	0,3689	0,467	69,62	88,13	30,97	0,8813	95,21565	-37,5505	34,94621	130,7788
campione 5*	0,3887	0,5189	34,25	45,72	8,14	0,4572	73,36348	-36,3995	53,63172	62,70521
campione 7*	0,3912	0,4852	69,53	86,24	21,97	0,8624	94,41487	-34,2894	50,52257	88,51188
campione 7*	0,3808	0,4606	37,15	44,93	15,47	0,4493	72,84578	-24,5894	28,76643	109,687

CAMPIONE Tappeti in commercio	PUNTO 16								$\Delta E_{16}$	
	tristimolo					CIE Lab				
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	L	a		b
<b>BluOrogel</b> chiuso	0,3849	0,4495	85,72	100,11	36,87	1,0011	100,0425	-26,6303	33,88378	108,0989
<b>A</b> front mod chius	0,3805	0,4937	61,92	80,35	20,49	0,8035	91,84167	-39,9366	49,29956	56,62574
<b>A</b> retro mod chiuso	0,3823	0,5005	65,58	85,87	20,1	0,8587	94,25674	-42,1344	54,33591	65,55006
<b>B</b> mod aperto	0,3607	0,5044	22,43	31,37	8,39	0,3137	62,81874	-36,8464	34,4332	126,4783
<b>B</b> mod aperto	0,3618	0,4758	28,37	37,31	12,73	0,3731	67,50896	-32,3898	27,39255	113,9233
<b>C</b> mod aperto Orogel	0,3887	0,4852	79,74	99,54	25,85	0,9954	99,82186	-36,9577	52,05442	113,6734
<b>C</b> mod aperto Orogel	0,3607	0,463	30,52	39,18	14,92	0,3918	68,88145	-30,2317	23,42366	134,948
<b>D</b> fronte mod chiuso	0,3553	0,4693	29,34	38,75	14,48	0,3875	68,56978	-33,2709	24,10674	121,7941
<b>D</b> retro mod chiuso	0,3795	0,4621	58,54	71,29	24,43	0,7129	87,62571	-29,6407	33,78103	113,7198
<b>D</b> fronte mod chiuso	0,3493	0,4399	23,13	29,13	13,95	0,2913	60,89619	-25,4409	12,37977	123,3487
<b>D</b> retro mod chiuso	0,3596	0,4514	35,3	44,3	18,56	0,443	72,42856	-28,8413	20,26087	126,9695
<b>E</b> mod aperto	0,3769	0,4816	58,23	74,41	21,87	0,7441	89,1159	-36,8014	41,59892	97,25331
<b>E</b> mod aperto	0,3518	0,4213	12,45	14,9	8,03	0,149	45,49693	-16,1504	6,040441	135,6819
<b>F</b> mod aperto	0,3837	0,5086	49,64	65,8	13,93	0,658	84,8943	-40,1729	53,81329	61,09122
<b>F</b> mod aperto	0,3835	0,4801	9,63	12,05	3,43	0,1205	41,29548	-18,4648	23,48259	84,80889
<b>G</b> mod aperto	0,3867	0,4836	104,64	130,86	35,1	1,3086	110,8801	-40,7924	55,27245	83,53068
<b>G</b> mod aperto	0,352	0,4443	13,47	17,01	7,8	0,1701	48,27263	-21,4944	11,79005	131,5415
<b>H</b> mod aperto	0,3848	0,4829	80,22	100,66	27,58	1,0066	100,2546	-37,8974	49,57791	102,5435
<b>H</b> mod aperto	0,3597	0,4802	12,05	16,09	5,36	0,1609	47,09235	-25,7221	21,39545	70,80046
<b>I</b> retro mod chiuso	0,3793	0,4721	74,72	93,01	29,29	0,9301	97,23166	-35,7048	41,31031	49,18674
<b>I</b> retro mod chiuso	0,3771	0,4833	14,72	18,86	5,45	0,1886	50,52301	-23,5222	26,82401	55,0608
<b>I</b> fronte mod chiuso	0,3584	0,4683	9,04	11,81	4,37	0,1181	40,91254	-21,5793	16,49069	49,26953
<b>M</b> retro mod chiuso	0,3852	0,4781	110,23	136,81	39,09	1,3681	112,7747	-40,1023	52,56513	104,0597
<b>M</b> fronte mod chiuso	0,3703	0,4541	40,23	49,32	19,08	0,4932	75,64997	-27,0345	24,59173	123,9826
<b>N</b> fronte mod aperto	0,3758	0,462	42,57	52,34	18,38	0,5234	77,4837	-27,9374	29,40539	33,88325
<b>N</b> fronte mod aperto	0,3855	0,5039	32,24	42,14	9,26	0,4214	70,96734	-33,0323	45,09019	48,94059
<b>O</b> mod aperto	0,3492	0,4749	16,49	22,43	8,3	0,2243	54,4803	-30,4261	20,42068	91,79075
<b>O</b> mod aperto	0,3704	0,4721	62,88	80,14	26,74	0,8014	91,74764	-37,3467	36,45807	100,3824
<b>P</b> mod aperto	0,3882	0,484	77,25	96,32	25,43	0,9632	98,55925	-36,3781	50,68146	63,6416
<b>P</b> mod aperto	0,3711	0,4813	12,35	16,02	4,91	0,1602	47,00072	-23,3005	23,75475	110,9407
<b>simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato</b>										
<b>CAMPIONI</b>										
<b>campione 1*</b>	0,365	0,446	45,15	55,16	23,38	0,5516	79,13334	-27,62	21,24517	93,36555
<b>campione 1*</b>	0,3626	0,4734	35,55	46,41	16,08	0,4641	73,81079	-33,9694	28,81599	100,979
<b>campione 2*</b>	0,3845	0,4997	58,59	76,08	17,58	0,7608	89,89647	-39,3098	52,74699	64,757
<b>campione 2*</b>	0,3676	0,4637	33,03	41,67	15,16	0,4167	70,6428	-28,864	25,80486	67,38635
<b>campione 6*</b>	0,3942	0,498	73,21	92,49	20,03	0,9249	97,02025	-37,8615	59,25837	68,04527
<b>campione 6*</b>	0,3857	0,5046	52,13	68,2	14,83	0,682	86,10636	-38,9048	53,36943	75,66015
<b>campione 6* ondulato</b>	0,3943	0,474	94,89	114,07	31,68	1,1407	105,2035	-32,5583	50,9774	49,76141
<b>campione 6* ondulato</b>	0,3716	0,4747	32,5	41,52	13,44	0,4152	70,53871	-30,2684	30,48783	73,94989
<b>campione 4*</b>	0,3592	0,4894	29,5	40,19	12,43	0,4019	69,60464	-37,1304	31,92895	131,1911
<b>campione 5*</b>	0,3817	0,4733	72,54	89,95	27,57	0,8995	95,97602	-34,7354	42,21922	44,34829
<b>campione 7*</b>	0,4069	0,4893	82,56	99,29	21,06	0,9929	99,72481	-31,1529	61,63577	81,91414
<b>campione 7*</b>	0,3751	0,4925	27,24	35,76	9,61	0,3576	66,33614	-31,7426	35,80062	116,0769

**CAMPIONE**  
Tappeti in commercio

PUNTO 17									
tristimolo					CIELab				
x	y	X	Y	Z	Y/Yn	L	a	b	ΔE17

BluOrogel chiuso	0,3827	0,4425	97,07	112,24	44,33	1,1224	104,5518	-26,0264	31,13095	105,7999
A front mod chius	0,3877	0,4927	52,62	66,87	16,24	0,6687	85,43825	-34,7719	48,44671	56,28578
A retro mod chiuso	0,375	0,5002	31,05	41,41	10,33	0,4141	70,46222	-35,1136	40,32695	67,14529
B mod aperto	0,3797	0,4761	63,41	79,5	24,08	0,795	91,46005	-34,9105	41,08718	127,7526
B mod aperto	0,355	0,4657	28,87	37,88	14,58	0,3788	67,93208	-32,3005	22,72773	109,3556
C mod aperto Orogel	0,3882	0,4712	115,25	139,91	41,74	1,3991	113,7401	-36,5619	50,48364	100,3042
C mod aperto Orogel	0,3747	0,4613	42,2	51,96	18,47	0,5196	77,25691	-28,0495	28,79965	126,7076
D fronte mod chiuso	0,3542	0,5108	18,23	26,29	6,95	0,2629	58,3113	-37,6436	32,83435	133,677
D retro mod chiuso	0,3754	0,4761	53,78	68,2	21,28	0,682	86,10636	-34,7157	37,67719	116,8766
D fronte mod chiuso	0,3604	0,4512	39,28	49,17	20,53	0,4917	75,55697	-29,5534	21,13363	110,063
D retro mod chiuso	0,3576	0,5001	35,74	49,98	14,22	0,4998	76,05698	-43,0232	37,74853	128,5358
E mod aperto	0,3604	0,4803	27,88	37,15	12,32	0,3715	67,38942	-33,7714	28,45179	114,6778
E mod aperto	0,3517	0,4609	22,66	29,7	12,07	0,297	61,39451	-29,6757	18,90113	121,0248
F mod aperto	0,842	0,5172	43,91	59,12	11,27	0,5912	81,35751	-40,7406	55,90869	64,23102
F mod aperto	0,3667	0,4801	38,18	49,98	15,95	0,4998	76,05698	-35,149	33,0293	61,11499
G mod aperto	0,3915	0,4776	113,09	137,99	37,81	1,3799	113,1439	-37,2778	55,07186	80,43561
G mod aperto	0,3639	0,4558	18,89	23,66	9,36	0,2366	55,74576	-23,2144	18,47	124,3786
H mod aperto	0,3836	0,469	89,52	109,45	34,38	1,0945	103,5446	-34,8287	43,75054	97,65891
H mod aperto	0,3681	0,4704	40,21	51,38	17,64	0,5138	76,90862	-32,5207	30,20661	77,9265
I retro mod chiuso	0,3681	0,489	18,79	24,96	7,29	0,2496	57,03643	-29,2833	29,1071	54,93355
I retro mod chiuso	0,3849	0,501	17,69	23,03	5,25	0,2303	55,10323	-26,6347	35,80923	57,38435
I fronte mod chiuso	0,3699	0,4721	35,56	45,4	15,19	0,454	73,1545	-31,1074	30,05391	41,68652
M retro mod chiuso	0,3849	0,474	93,53	115,18	34,27	1,1518	105,5954	-36,599	47,45971	107,9307
M fronte mod chiuso	0,3665	0,4445	44,32	53,75	22,85	0,5375	78,31573	-26,4538	20,92264	121,1298
N fronte mod aperto	0,3768	0,4492	43,75	52,16	20,19	0,5216	77,37641	-24,0415	25,02957	28,20614
N fronte mod aperto	0,3884	0,5299	30,76	41,97	6,47	0,4197	70,85023	-37,8403	56,69942	61,21551
O mod aperto	0,3733	0,4698	29,83	37,55	12,54	0,3755	67,68764	-27,6346	28,28357	96,49112
O mod aperto	0,3753	0,4764	73,98	93,92	29,25	0,9392	97,59974	-38,7896	42,01503	107,2082
P mod aperto	0,3987	0,4803	115,93	139,68	35,18	1,3968	113,669	-35,2294	59,95668	51,90878
P mod aperto	0,3874	0,4733	28,47	34,78	10,24	0,3478	65,57702	-23,6781	32,22092	91,51517
simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato										
<b>CAMPIONI</b>										
campione 1*	0,3398	0,4186	18,39	22,65	13,07	0,2265	54,70998	-21,2961	4,296484	115,6935
campione 1*	0,3744	0,5067	46,04	62,31	14,62	0,6231	83,078	-42,1263	48,72994	100,8322
campione 2*	0,385	0,4827	94,52	118,5	32,48	1,185	106,7526	-39,8731	52,32943	55,17046
campione 2*	0,3726	0,4535	3697	45	17,26	0,45	72,89189	1277,545	24,22134	1282,986
campione 6*	0,3968	0,4851	64,37	78,69	19,16	0,7869	91,09384	-31,1816	51,03288	66,31492
campione 6*	0,3939	0,4881	71,11	88,12	21,3	0,8812	95,21145	-34,4026	53,33228	65,97483
campione 6* ondulato	0,4015	0,4931	55,21	67,8	14,48	0,678	85,90634	-30,2918	53,99736	58,99225
campione 6* ondulato	0,383	0,4907	29,22	37,43	9,63	0,3743	67,59839	-29,5361	37,90333	74,71928
campione 4*	0,3485	0,4642	33,69	44,87	18,1	0,4487	72,80621	-35,9089	22,01333	120,7342
campione 5*	0,3859	0,4956	41,9	53,8	12,86	0,538	78,34497	-33,6275	45,6798	53,14562
campione 7*	0,3911	0,467	114,21	136,35	41,43	1,3635	112,6302	-33,3548	48,99993	72,34582
campione 7*	0,3982	0,4626	27,25	31,66	9,53	0,3166	63,06088	-17,5856	30,44901	116,8672



CAMPIONE	PUNTO 18									$\Delta E_{18}$
	tristimolo					CIE Lab				
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	L	a	b	
Tappeti in commercio										
BluOrogel chiuso	0,3826	0,4491	91,13	106,98	40,09	1,0698	102,6385	-28,0599	33,65595	108,595
A front mod chius	0,3774	0,4976	64,56	85,11	21,38	0,8511	93,9305	-42,9854	50,95068	58,79748
A retro mod chius	0,3787	0,4784	47,72	60,28	18	0,6028	81,99015	-32,811	38,08958	56,65586
B mod aperto	0,3579	0,4897	42,13	57,66	17,94	0,5766	80,54939	-42,448	35,75108	124,735
B mod aperto	0,3388	0,4472	11,71	15,45	7,39	0,1545	46,24448	-24,4054	10,0596	106,2625
C mod aperto Orogel	0,3717	0,4837	45,16	58,76	17,56	0,5876	81,1595	-36,3252	37,73249	128,1589
C mod aperto Orogel	0,3752	0,4666	45,65	56,77	19,26	0,5677	80,05006	-30,1648	31,75982	124,5805
D fronte mod chius	0,3721	0,4713	46,04	58,32	19,37	0,5832	80,91637	-32,809	32,99915	110,9539
D retro mod chius	0,3855	0,4737	95,96	117,91	35,06	1,1791	106,5486	-36,5216	47,86634	101,4121
D fronte mod chius	0,3624	0,4517	36,86	45,94	18,91	0,4594	73,50658	-28,3726	21,29369	111,9388
D retro mod chius	0,3622	0,446	27,25	33,55	14,43	0,3355	64,6038	-24,2361	17,40907	134,1027
E mod aperto	0,3684	0,4849	49,68	65,39	19,77	0,6539	84,6843	-39,1617	38,57879	101,2261
E mod aperto	0,3361	0,4206	9,75	12,2	7,06	0,122	41,53224	-18,5401	3,40484	139,9384
F mod aperto	0,3913	0,4743	94,69	114,77	32,52	1,1477	105,4509	-33,9692	50,01973	43,98118
F mod aperto	0,3745	0,4594	49,91	61,23	22,13	0,6123	82,50223	-29,1479	29,64487	53,06176
G mod aperto	0,3906	0,482	116,17	143,34	37,9	1,4334	114,7918	-39,7079	57,78019	81,42442
G mod aperto	0,3606	0,4587	26,25	33,39	13,16	0,3339	64,47546	-27,6857	20,86416	116,4461
H mod aperto	0,3849	0,4807	97,68	122	34,11	1,22	107,9494	-39,6395	51,77128	107,8826
H mod aperto	0,3585	0,459	9,43	12,07	4,8	0,1207	41,32716	-20,1943	14,61131	65,41345
I retro mod chius	0,3787	0,4584	69,51	84,14	29,89	0,8414	93,51127	-30,4369	33,85196	40,39329
I retro mod chius	0,3721	0,479	27,49	35,38	10,99	0,3538	66,04345	-29,4955	30,44004	47,68241
I fronte mod chius	0,3583	0,4763	11,38	15,13	5,25	0,1513	45,81174	-24,8531	19,78942	47,61784
M retro mod chius	0,3856	0,4732	113,98	139,88	41,74	1,3988	113,7308	-38,4488	50,46766	101,9953
M fronte mod chius	0,3557	0,45	27,28	34,51	14,9	0,3451	65,36538	-27,4002	17,41641	134,0656
N fronte mod aperto	0,3711	0,4743	25,25	32,27	10,52	0,3227	63,56541	-27,8689	27,77322	32,22672
N fronte mod aperto	0,3772	0,4817	31,22	39,88	11,68	0,3988	69,38398	-29,8511	33,92324	38,30343
O mod aperto	0,3616	0,4581	35,55	45,04	17,74	0,4504	72,91822	-30,1221	23,08145	92,10947
O mod aperto	0,3658	0,4683	54,74	70,08	24,82	0,7008	87,03609	-36,3252	31,99752	95,09746
P mod aperto	0,389	0,4764	105,43	129,1	36,48	1,291	110,3087	-37,059	52,17221	54,68516
P mod aperto	0,3795	0,4558	39,49	47,43	17,15	0,4743	74,46398	-24,1928	27,20655	84,45526
simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato										
CAMPIONI										
campione 1*	0,3632	0,4452	43,34	53,13	22,87	0,5313	77,95169	-27,707	20,25365	94,38228
campione 1*	0,3635	0,4982	43,02	58,96	16,36	0,5896	81,2696	-42,9392	40,94871	99,76556
campione 2*	0,3908	0,5101	44,26	57,77	11,22	0,5777	80,61075	-36,5177	54,78697	70,92914
campione 2*	0,3899	0,4384	44,6	50,14	19,63	0,5014	76,15511	-16,3421	24,19275	58,31286
campione 6*	0,3943	0,4973	45,45	57,32	12,5	0,5732	80,35924	-32,0589	50,25464	75,17696
campione 6*	0,3895	0,4776	29,38	36,03	10,02	0,3603	66,54284	-24,3836	34,66827	84,29622
campione 6* ondulato	0,3898	0,4533	161,73	188,07	65,07	1,8807	127,1851	-32,0215	46,03581	44,51439
campione 6* ondulato	0,3735	0,4972	19,75	26,29	6,84	0,2629	58,3113	-29,9963	33,33974	83,33769
campione 4*	0,3867	0,4693	148,27	179,92	55,21	1,7992	125,0862	-39,6801	53,12151	151,1123
campione 5*	0,382	0,4745	56,07	69,65	21,06	0,6965	86,82492	-32,1387	39,39457	43,83761
campione 7*	0,3911	0,474	115,18	139,59	39,71	1,3959	113,6411	-36,2411	53,16769	72,53855
campione 7*	0,3741	0,4613	34,93	43,07	15,36	0,4307	71,60246	-26,5157	26,91836	111,8725





CAMPIONE Tappeti in commercio	PUNTO 20								ΔE20	
	tristimolo					CIE Lab				
	x	y	X	Y	Z	Y/Yn	L	a		b
<b>BluOrogel</b> chiuso	0,379	0,451	88,98	105,9	39,92	1,059	102,2379	-30,1644	33,20718	108,837
<b>A</b> front mod chius	0,3771	0,4798	64,39	81,92	24,43	0,8192	92,53954	-37,3684	42,25314	49,83859
<b>A</b> retro mod chiuso	0,3692	0,5092	27,32	37,68	9	0,3768	67,7841	-37,6678	40,59253	70,36582
<b>B</b> mod aperto	0,3744	0,4736	47,95	60,65	19,46	0,6065	82,19023	-33,0486	34,98807	122,4309
<b>B</b> mod aperto	0,3534	0,4654	25,09	33,04	12,87	0,3304	64,19328	-31,2422	21,25003	109,0605
<b>C</b> mod aperto Orogel	0,3827	0,4803	64,89	81,44	23,23	0,8144	92,32713	-35,3415	44,29909	118,3999
<b>C</b> mod aperto Orogel	0,3577	0,446	24,2	30,18	13,28	0,3018	61,80922	-24,7286	15,90996	141,152
<b>D</b> fronte mod chiuso	0,3775	0,4663	83,93	103,68	34,75	1,0368	101,4058	-35,8261	39,48266	93,641
<b>D</b> retro mod chiuso	0,3636	0,4684	45,34	58,4	20,95	0,584	80,96067	-34,9607	29,52429	120,1904
<b>D</b> fronte mod chiuso	0,3458	0,4571	22,67	29,96	12,92	0,2996	61,61969	-30,6016	16,66146	123,4787
<b>D</b> retro mod chiuso	0,3432	0,4707	28,1	38,54	15,23	0,3854	68,41674	-37,3451	21,7769	132,2799
<b>E</b> mod aperto	0,3789	0,4721	63,9	79,61	25,13	0,7961	91,50959	-34,0237	39,10657	93,65237
<b>E</b> mod aperto	0,3651	0,4532	33,37	41,42	16,61	0,4142	70,46918	-26,9373	21,68488	111,7882
<b>F</b> mod aperto	0,3929	0,4737	111,72	134,72	37,95	1,3472	112,1156	-34,9514	53,09235	43,0371
<b>F</b> mod aperto	0,3672	0,4846	23,4	30,89	9,45	0,3089	62,41467	-30,8	29,63191	69,74296
<b>G</b> mod aperto	0,3896	0,4815	113,41	139,81	37,43	1,3981	113,7092	-39,225	56,60984	81,45691
<b>G</b> mod aperto	0,3623	0,4729	31,47	41,07	14,31	0,4107	70,22494	-32,5756	27,43861	112,3172
<b>H</b> mod aperto	0,3959	0,4616	60,24	70,23	21,69	0,7023	87,10955	-23,4176	38,52383	84,16176
<b>H</b> mod aperto	0,3715	0,4775	30,18	38,79	12,27	0,3879	68,59887	-30,2647	30,69329	77,25412
<b>I</b> retro mod chiuso	0,3834	0,4633	78,08	94,35	31,2	0,9435	97,77285	-31,356	38,96795	44,8202
<b>I</b> retro mod chiuso	0,3774	0,4812	42,28	53,91	15,83	0,5391	78,40923	-32,7802	37,40089	47,89724
<b>I</b> fronte mod chiuso	0,3643	0,473	27,5	35,7	12,27	0,357	66,29006	-30,5191	26,71258	41,26446
<b>M</b> retro mod chiuso	0,3888	0,4765	115,47	141,53	39,99	1,4153	114,2389	-38,3797	53,79896	102,732
<b>M</b> fronte mod chiuso	0,3628	0,4519	32,48	40,46	16,59	0,4046	69,79592	-27,137	20,57523	129,6566
<b>N</b> fronte mod aperto	0,3686	0,4635	26,99	33,95	12,3	0,3395	64,92286	-26,6426	24,26156	28,78113
<b>N</b> fronte mod aperto	0,3886	0,5154	30,24	40,11	7,47	0,4011	69,54781	-34,1335	49,88806	53,51054
<b>O</b> mod aperto	0,3573	0,4734	32,16	42,62	15,23	0,4262	71,29629	-34,7332	26,74166	97,16252
<b>O</b> mod aperto	0,3713	0,4609	64,18	79,67	29,01	0,7967	91,53659	-33,5139	31,98325	95,08515
<b>P</b> mod aperto	0,3969	0,4706	148,91	176,57	49,73	1,7657	124,205	-35,0653	58,11335	44,23858
<b>P</b> mod aperto	0,3755	0,4963	25,56	33,78	8,72	0,3378	64,78757	-31,8526	36,51456	93,85085
simulaz. tappeti con cartoncini o altri materiali a superficie liscia, adatti al trasporto spinacio fresco/lavato										
<b>CAMPIONI</b>										
<b>campione 1*</b>	0,3447	0,423	20,9	25,65	14,09	0,2565	57,70333	-21,847	6,474074	112,7342
<b>campione 1*</b>	0,3762	0,5016	62,23	82,97	20,2	0,8297	93,0013	-44,2271	51,9466	94,57896
<b>campione 2*</b>	0,3854	0,4812	47,95	59,87	16,59	0,5987	81,76748	-31,2264	41,21586	61,74691
<b>campione 2*</b>	0,3728	0,4587	17,44	21,45	7,88	0,2145	53,43851	-20,7837	20,35935	81,24222
<b>campione 6*</b>	0,392	0,4853	70,67	87,49	22,12	0,8749	94,94578	-34,1772	51,12038	65,55847
<b>campione 6*</b>	0,3748	0,4766	37,93	48,22	15,03	0,4822	74,96348	-31,2267	33,60856	80,29909
<b>campione 6* ondulato</b>	0,4054	0,502	46,85	58,01	10,7	0,5801	80,74435	-29,8232	56,7716	62,72838
<b>campione 6* ondulato</b>	0,3749	0,4996	28,52	38	9,55	0,38	68,02061	-34,0189	38,92628	76,8725
<b>campione 4*</b>	0,3563	0,4892	27,42	37,65	11,89	0,3765	67,76186	-37,1778	30,45155	130,2116
<b>campione 5*</b>	0,3843	0,483	61,57	77,4	21,26	0,774	90,5054	-34,9789	45,30511	48,36482
<b>campione 7*</b>	0,392	0,4824	95,47	117,48	30,6	1,1748	106,3994	-36,717	54,8555	78,77022
<b>campione 7*</b>	0,3929	0,4622	27,2	31,99	10,03	0,3199	63,33462	-18,9633	29,10105	117,2114

**Allegato 6 – Dati e grafici colorimetrici estrapolati dal software 2D Color Analyzer CA 2000**

**NASTRO:** CAMPIONE BLUOROGEL

**Tipologia:** chiuso, flat top

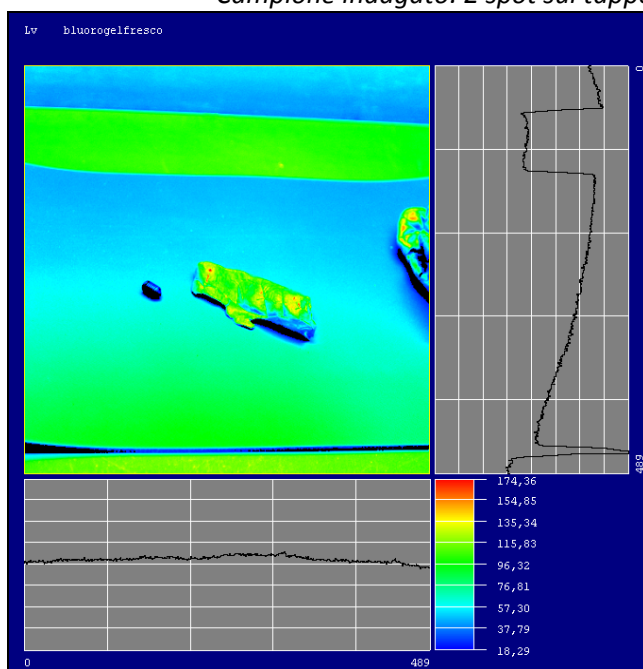
**Colore:** NCS S 3060-R70B

**Colore percepito:** blu

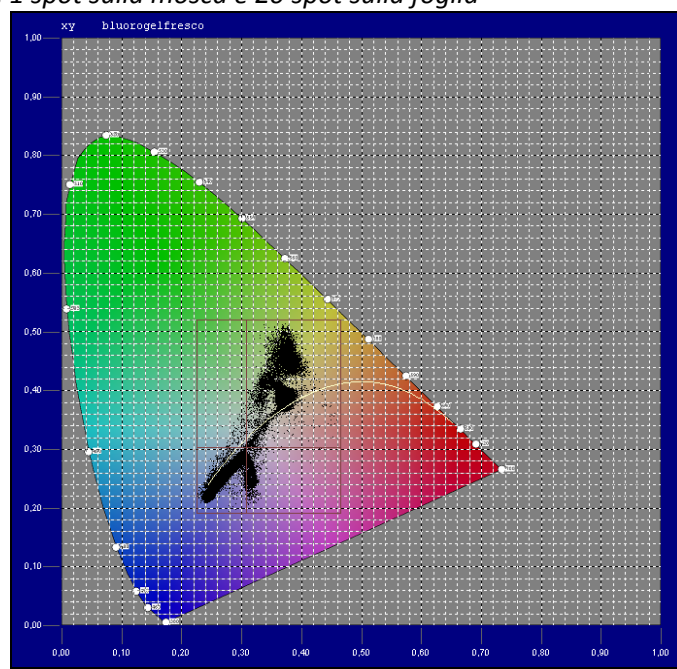
**Foglia spinacio:** fresca



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza Lv*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

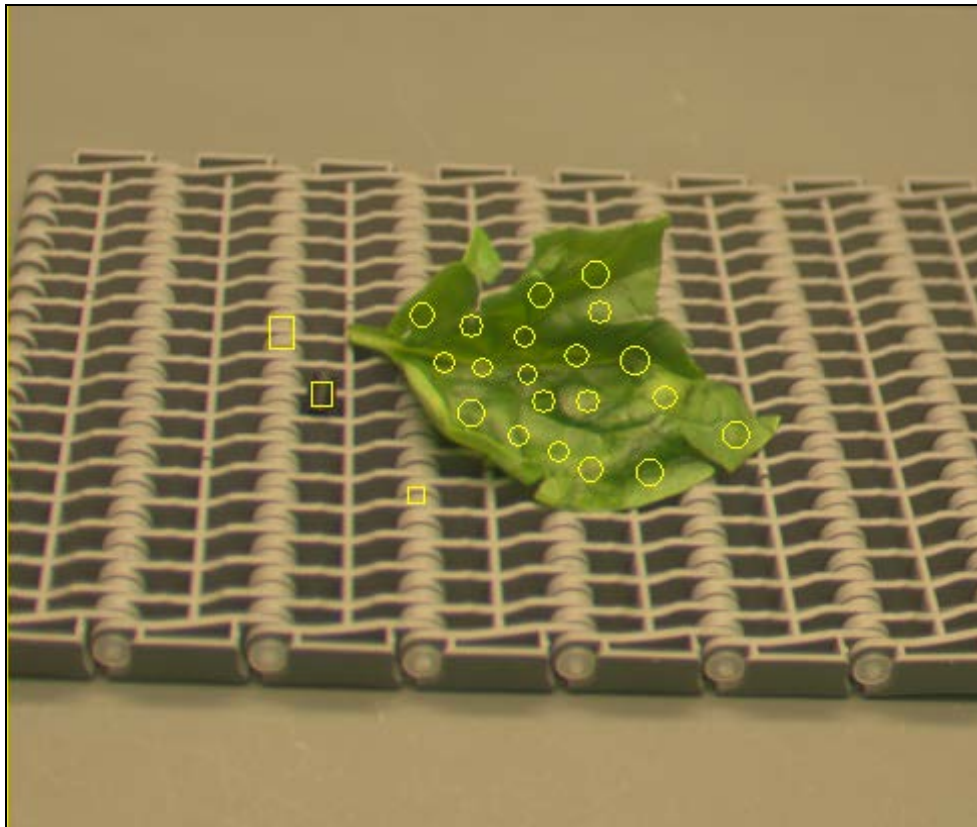
**NASTRO:** CAMPIONE A

**Tipologia:** modulare chiuso

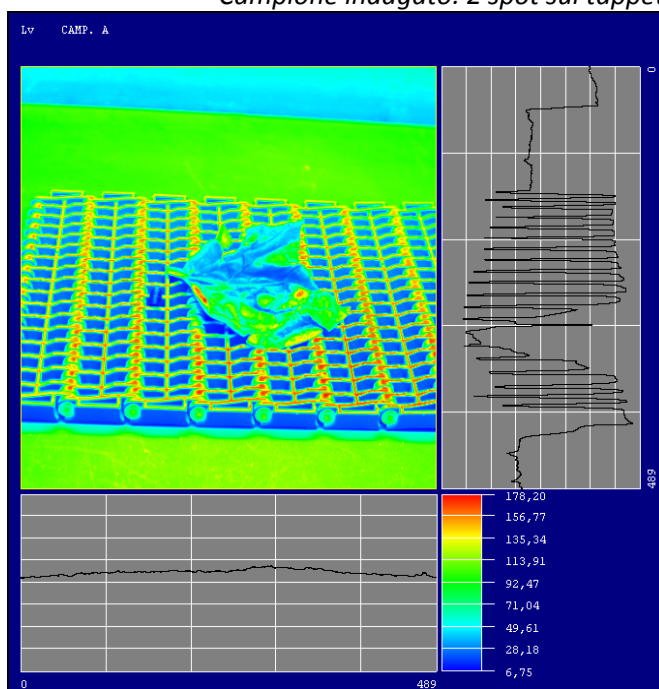
**Colore:** NCS S 5005-B20G

**Foglia spinacio:** fresca

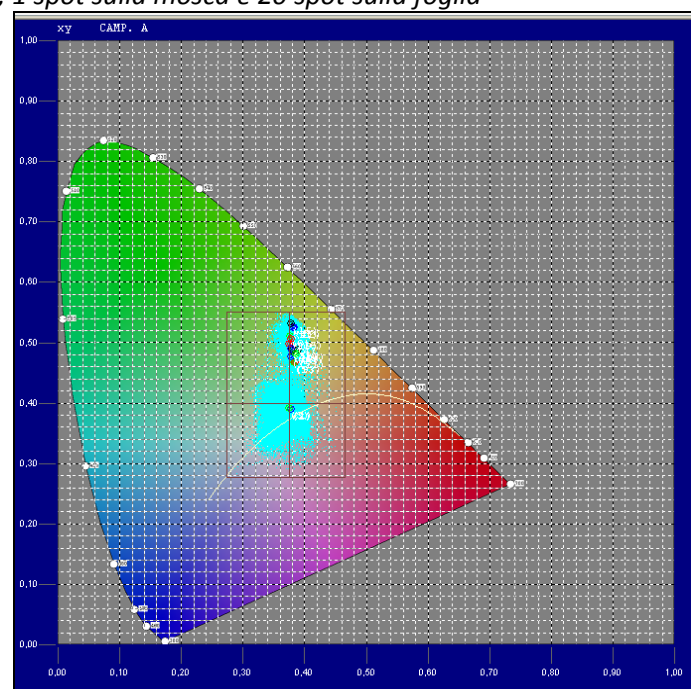
**Colore percepito:** grigio



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza Lv*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*



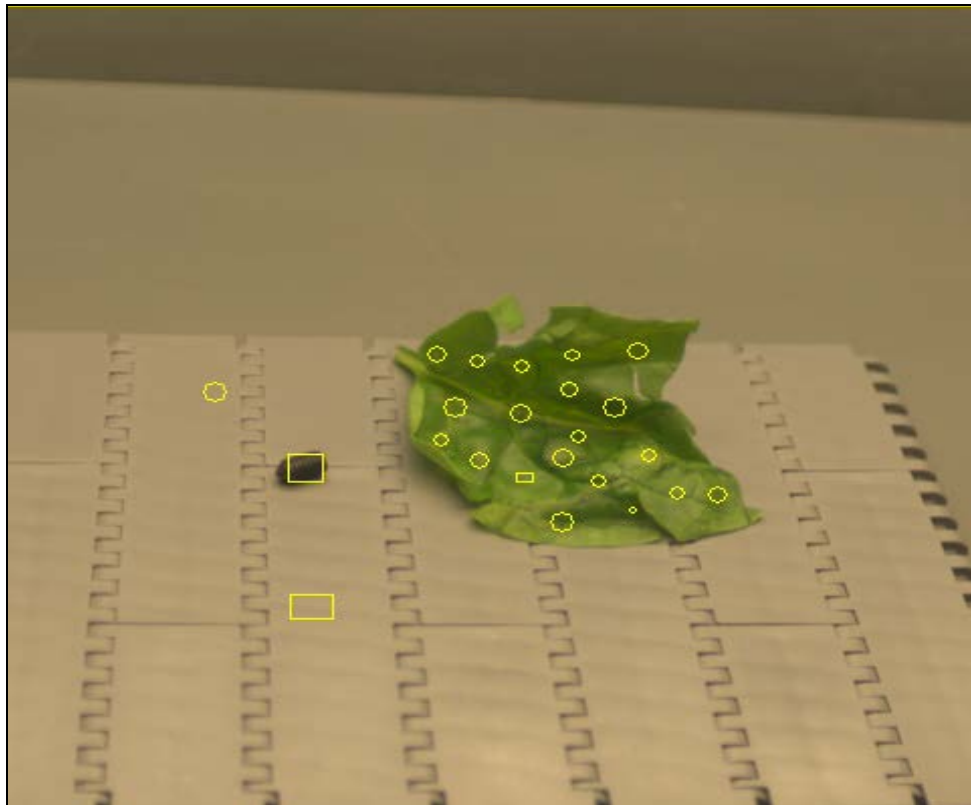
**NASTRO:** CAMPIONE A retro

**Tipologia:** modulare chiuso

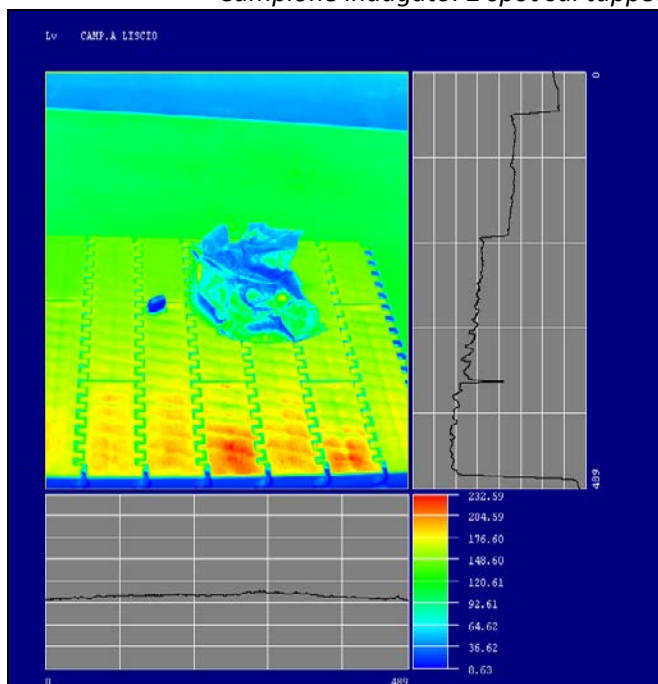
**Colore:** NCS S 5005-B20G

**colore percepito:** grigio

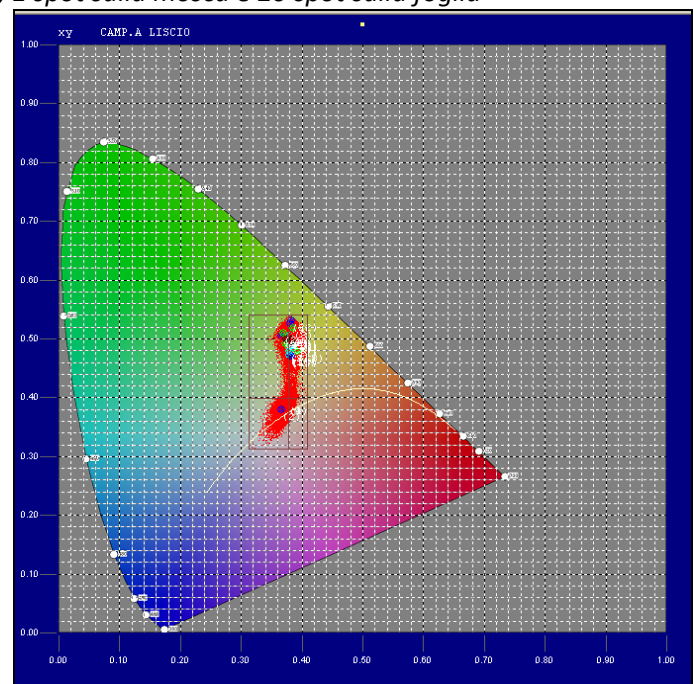
**Foglia spinacio:** fresca



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza Lv*

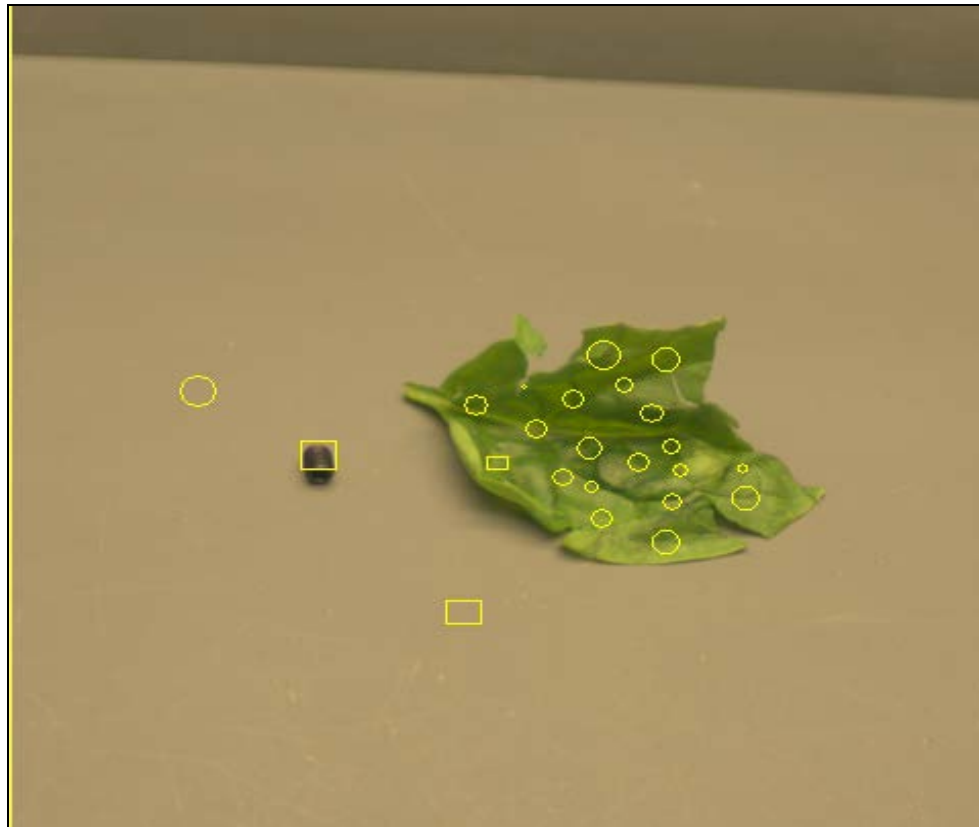


*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

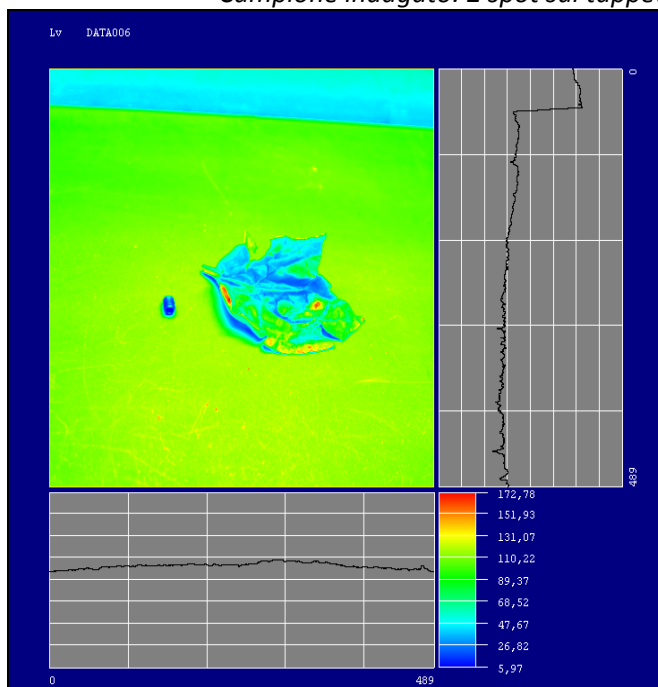
**NASTRO:** CAMPIONE 5  
**Tipologia:** cartoncino  
**Colore:** NCS S 3502- Y  
**Foglia spinacio:** fresca

*eliminato perché dello stesso colore del campione 2*

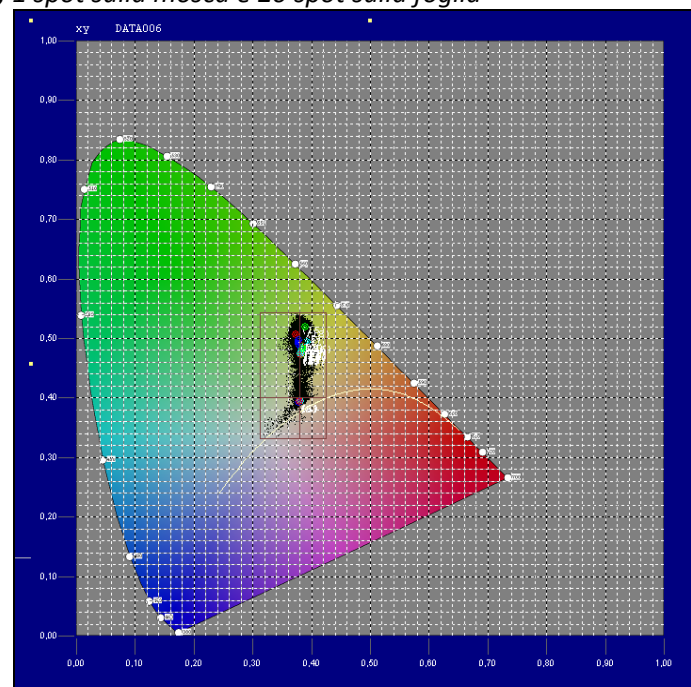
**colore percepito:** grigio chiaro caldo



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza Lv*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

**NASTRO:** CAMPIONE 4

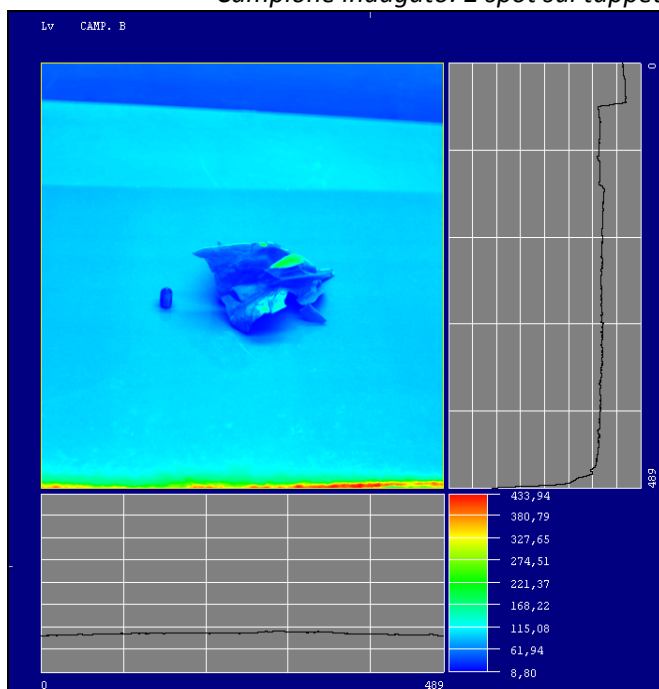
**Tipologia:** cartoncino lucido

**Colore:** NCS S 1565-B **colore percepito:** blu saturo

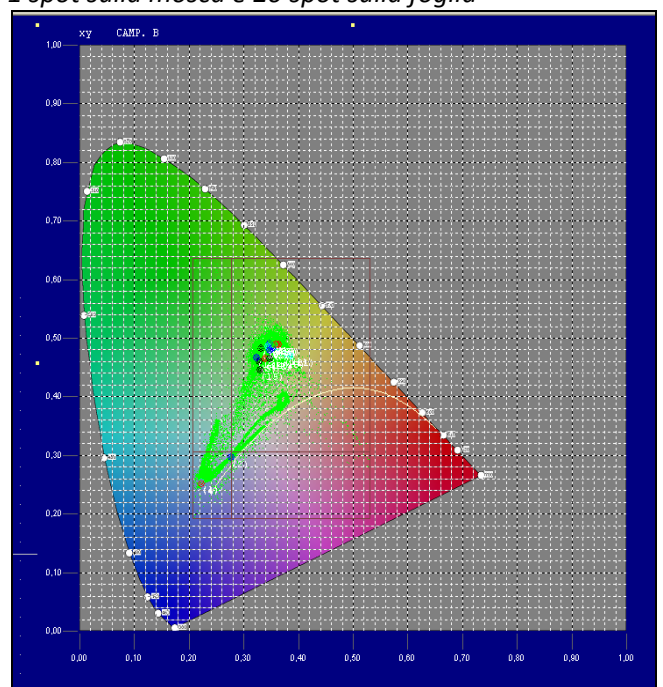
**Foglia spinacio:** fresca



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

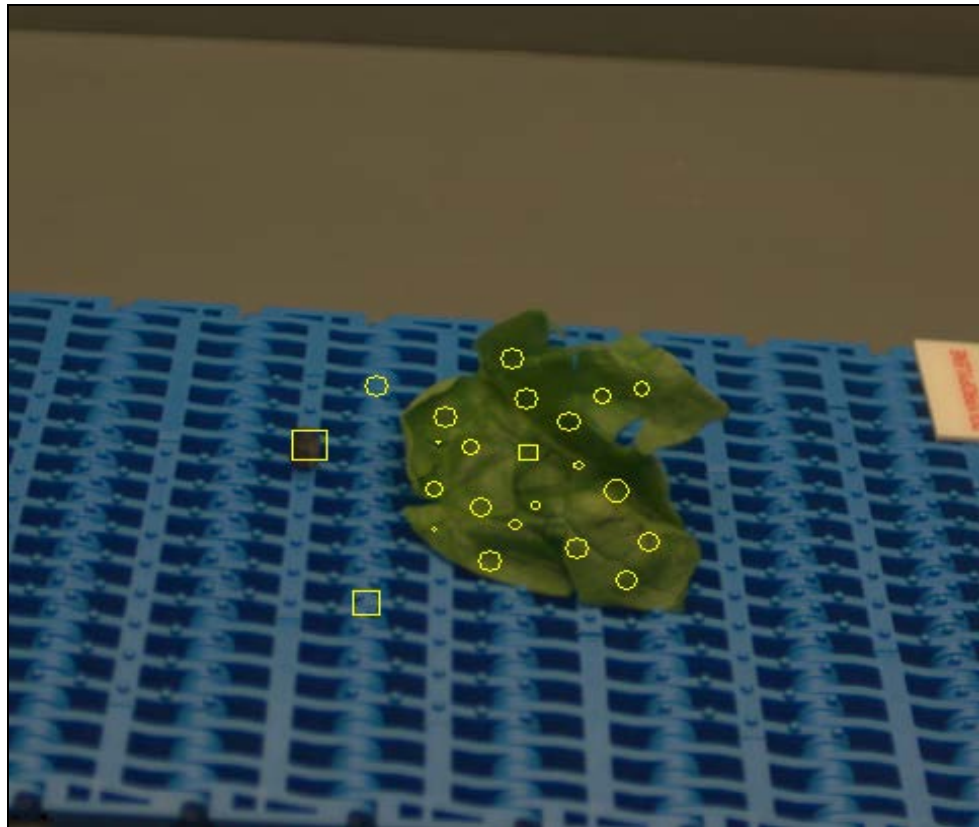
**NASTRO:** CAMPIONE B

**Tipologia:** modulare aperto

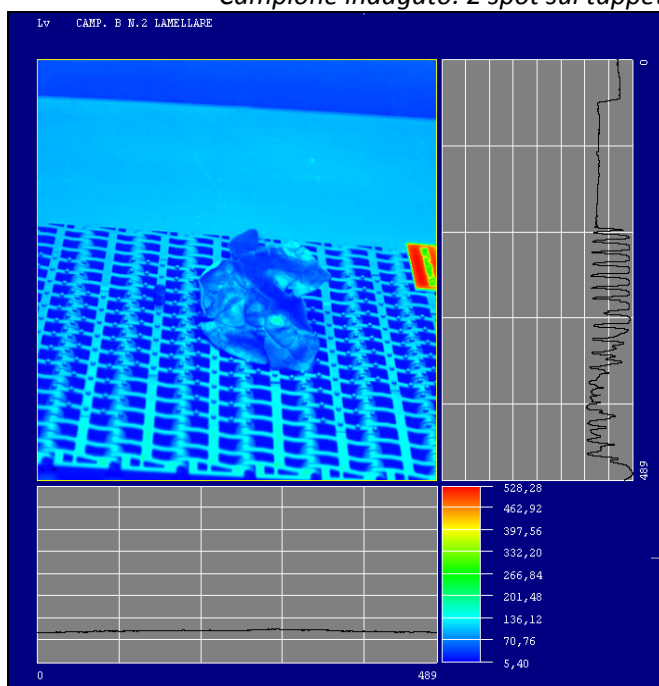
**Colore:** NCS S 2060-R90B

**Foglia spinacio:** fresca

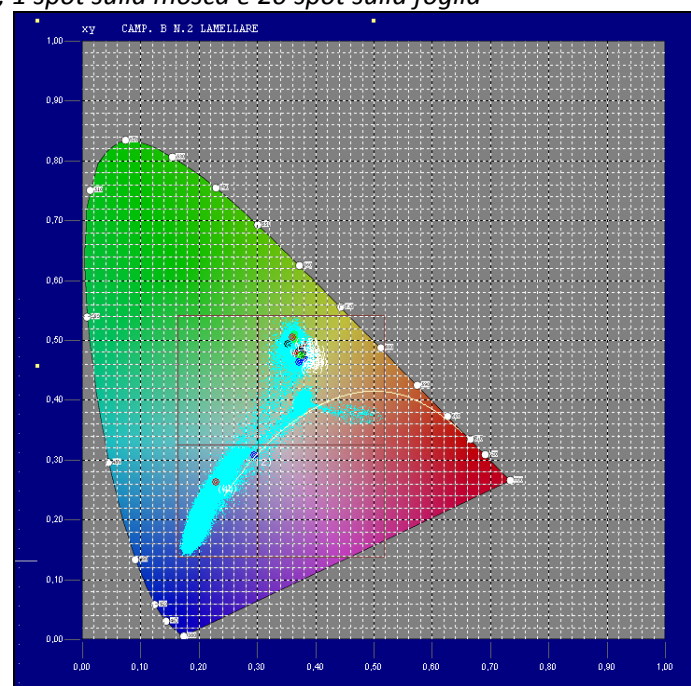
**colore percepito:** blu



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza Lv*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*



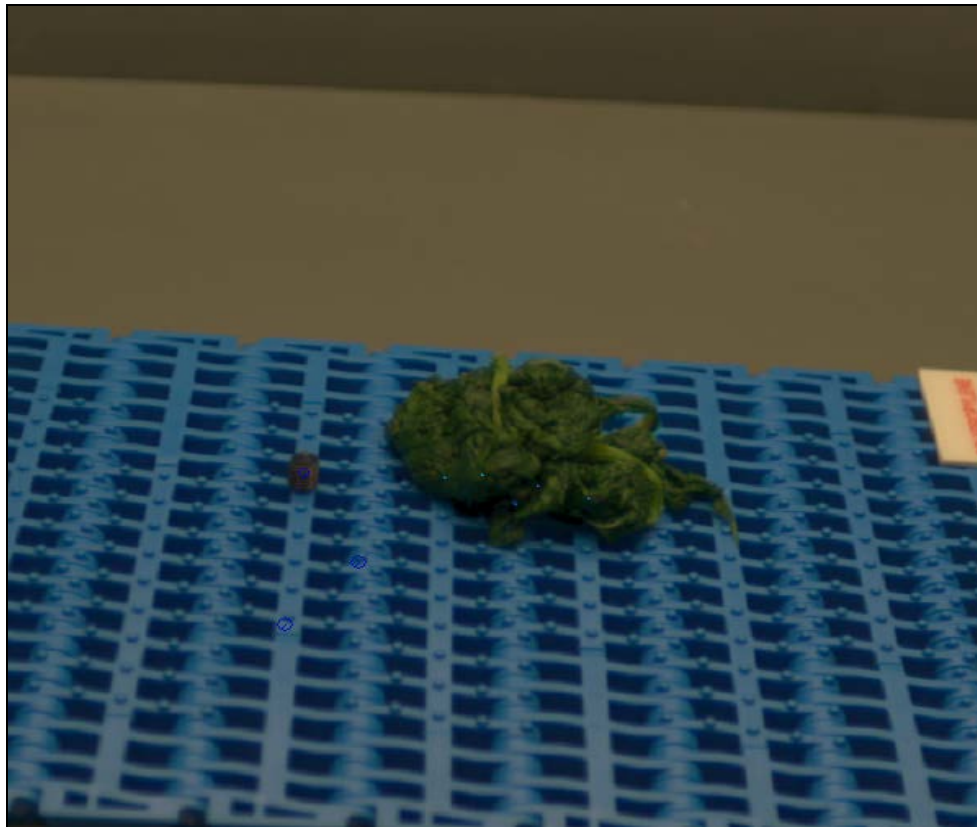
**NASTRO:** CAMPIONE B

**Tipologia:** modulare aperto

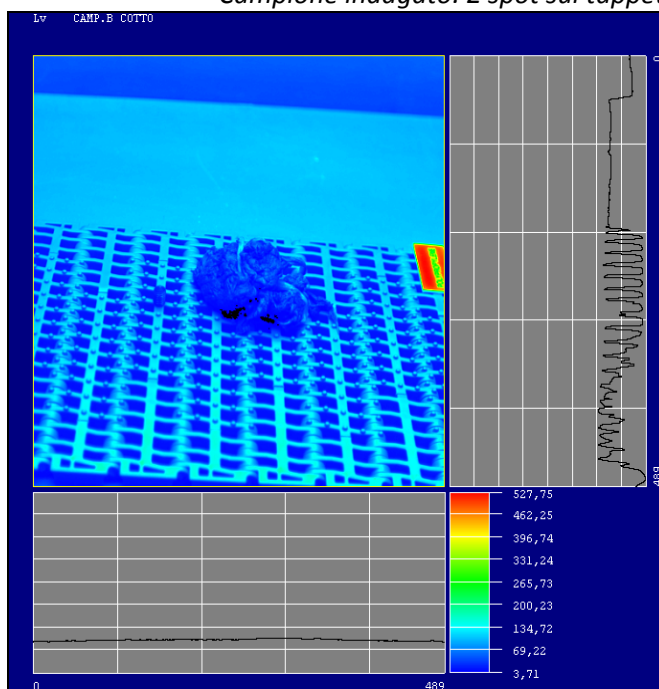
**Colore:** NCS S 2060-R90B

**colore percepito:** blu

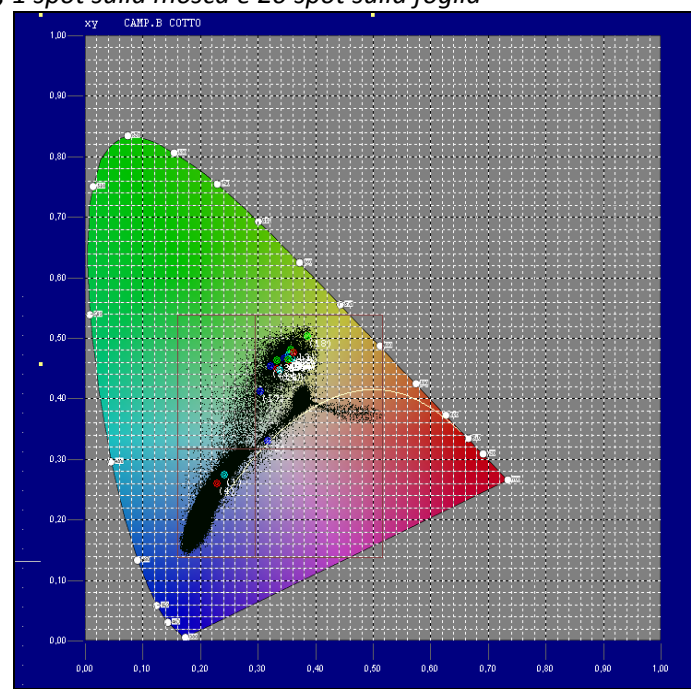
**Foglia spinacio:** cotta



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*



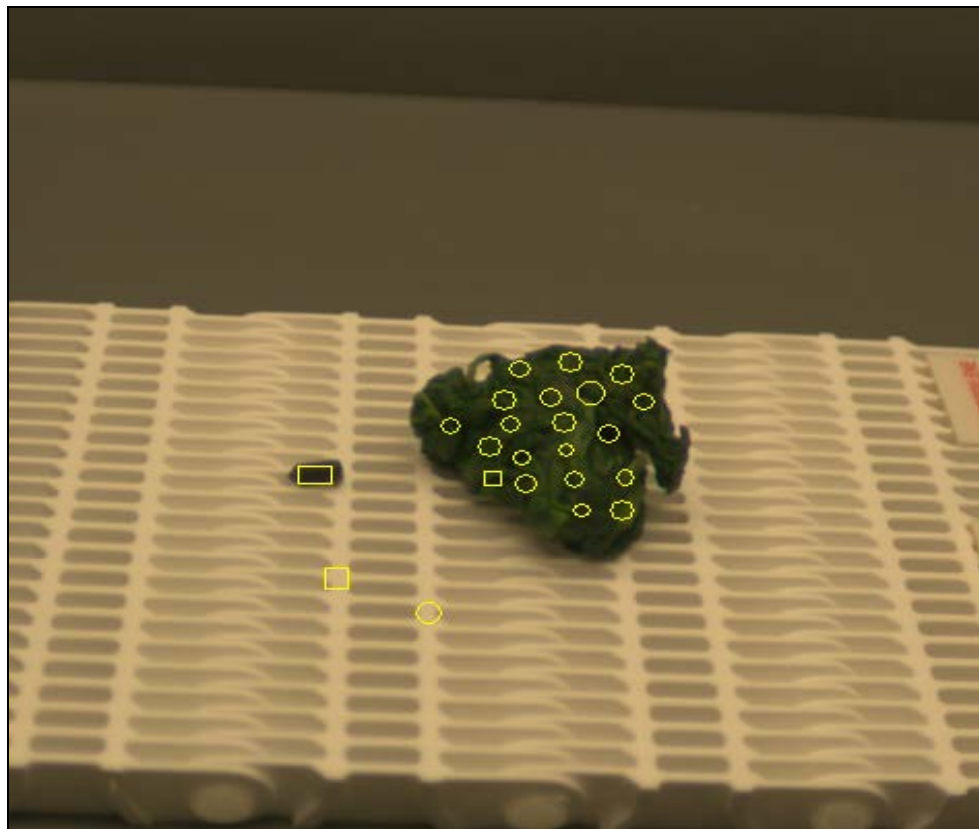
**NASTRO:** CAMPIONE C

**Tipologia:** modulare aperto

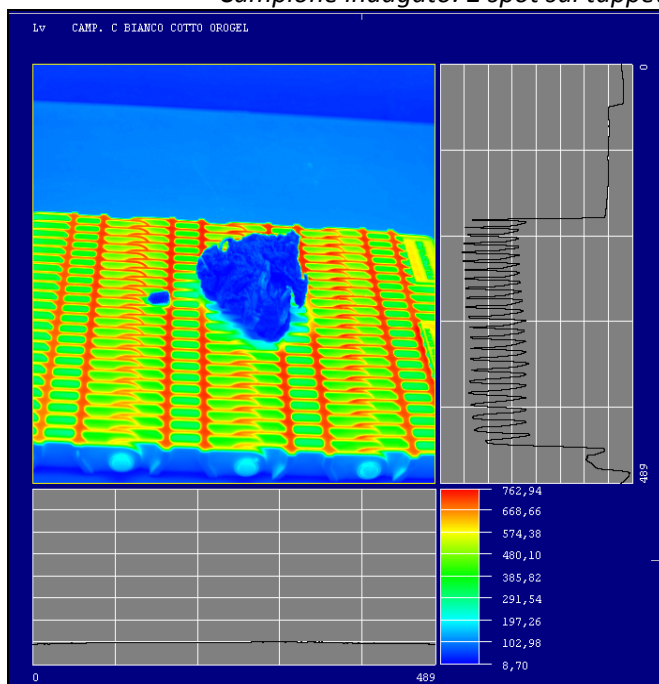
**Colore:** NCS S - 0300-N

**Colore percepito:** bianco

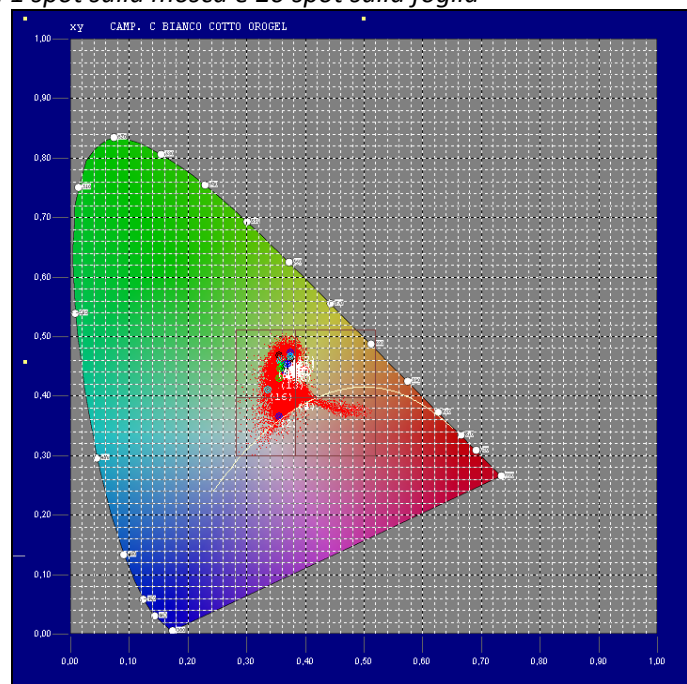
**Foglia spinacio:** cotta



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza Lv*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

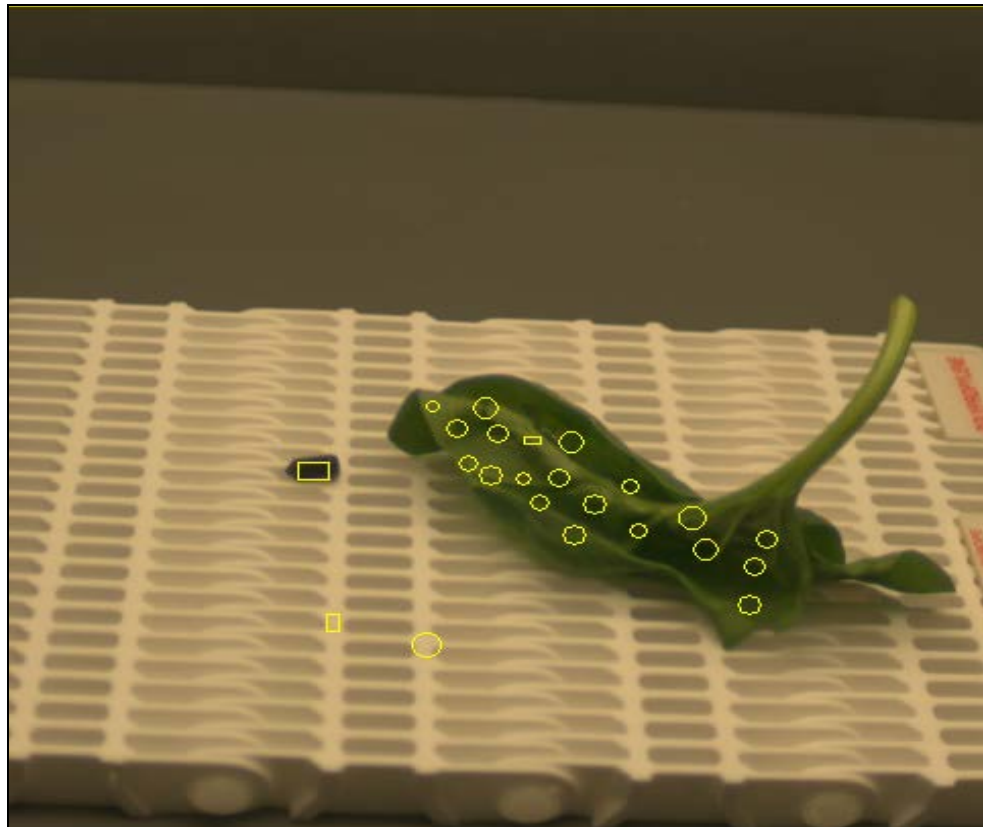
**NASTRO:** CAMPIONE C

**Tipologia:** modulare aperto

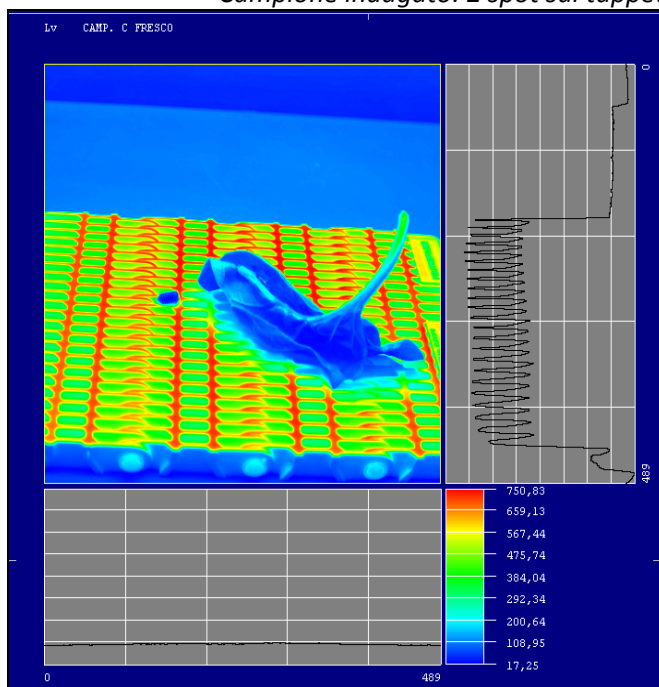
**Colore:** NCS S 0300-N

**Colore percepito:** bianco

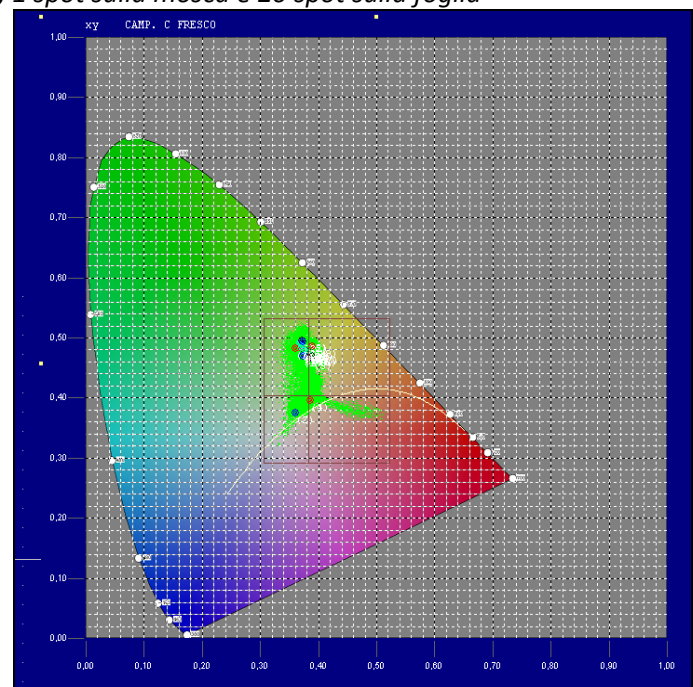
**Foglia spinacio:** fresca



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

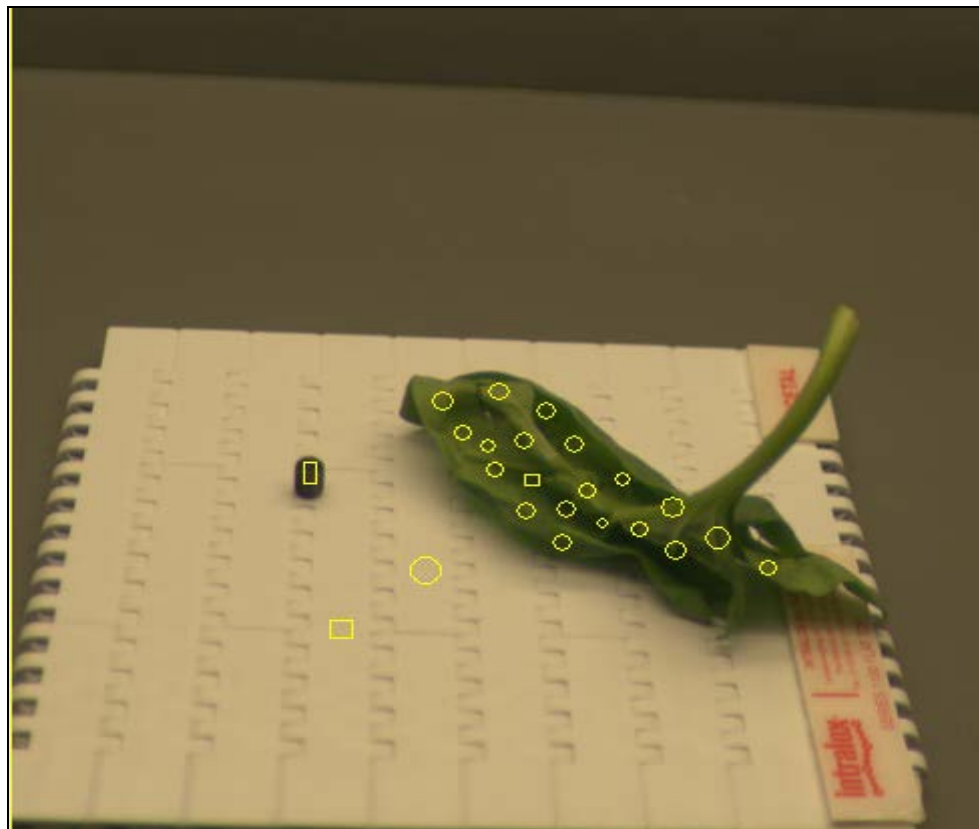
**NASTRO:** CAMPIONE D retro

**Tipologia:** modulare chiuso

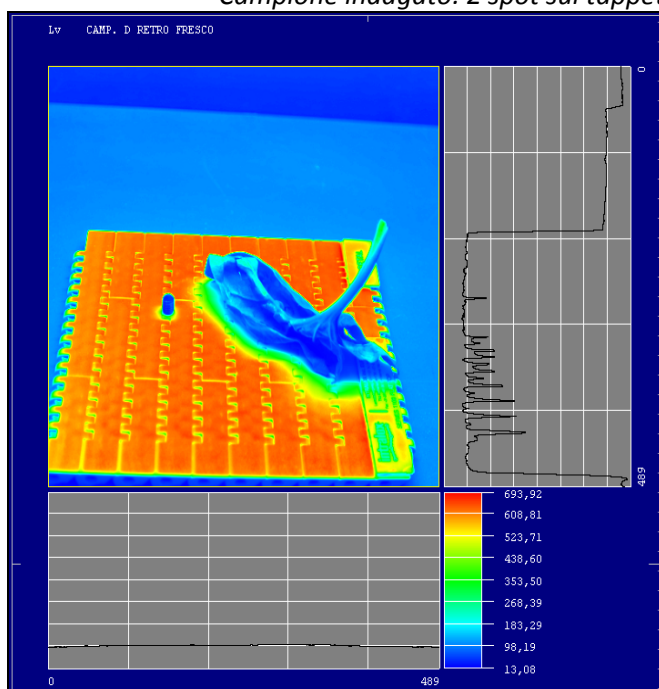
**Colore:** NCS S 0502-B

**Colore percepito:** bianco

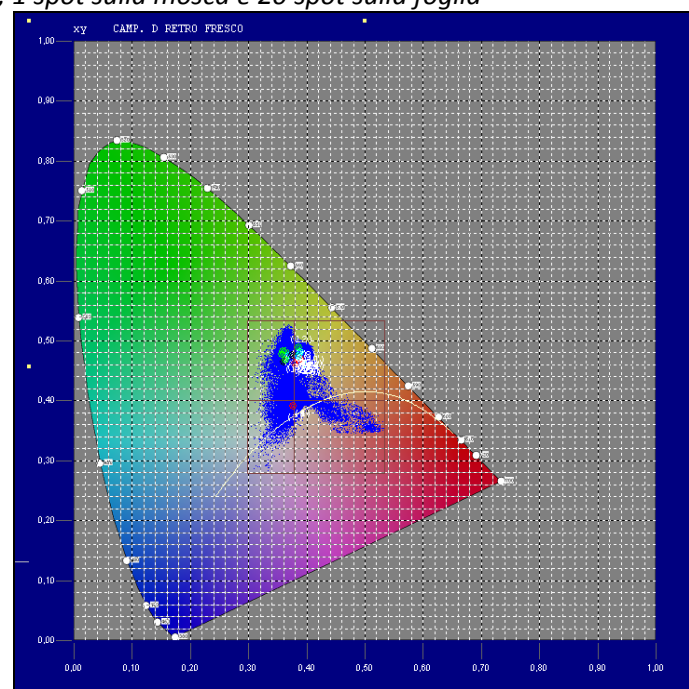
**Foglia spinacio:** fresca



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

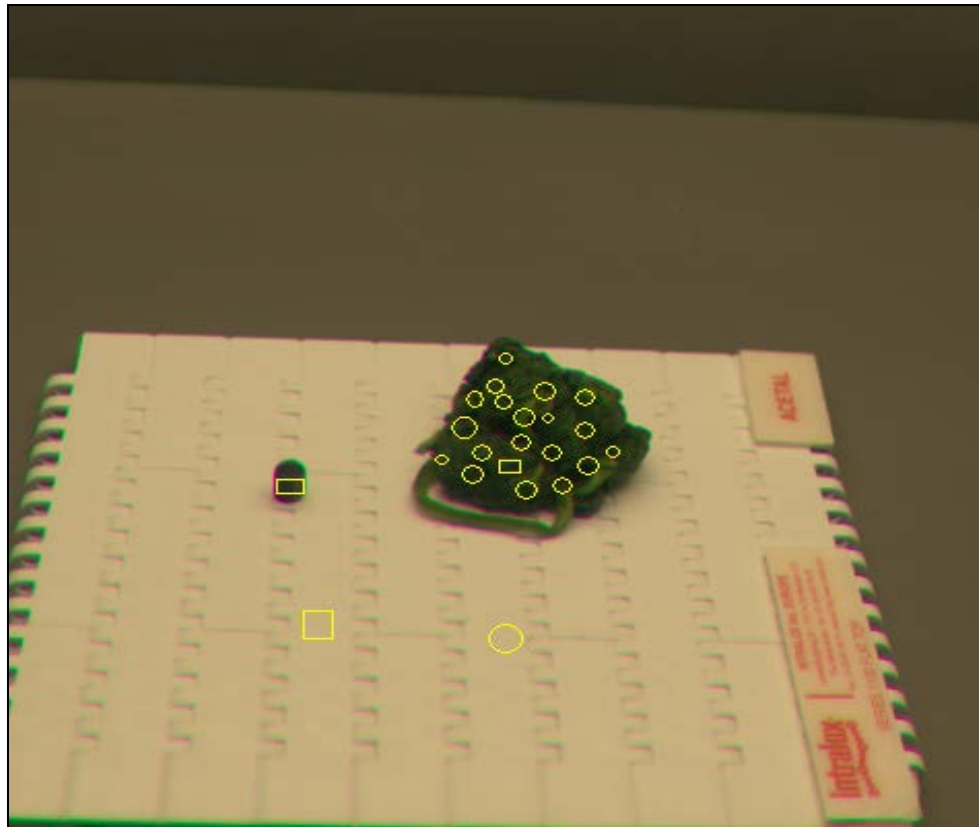
**NASTRO:** CAMPIONE D retro

**Tipologia:** modulare chiuso

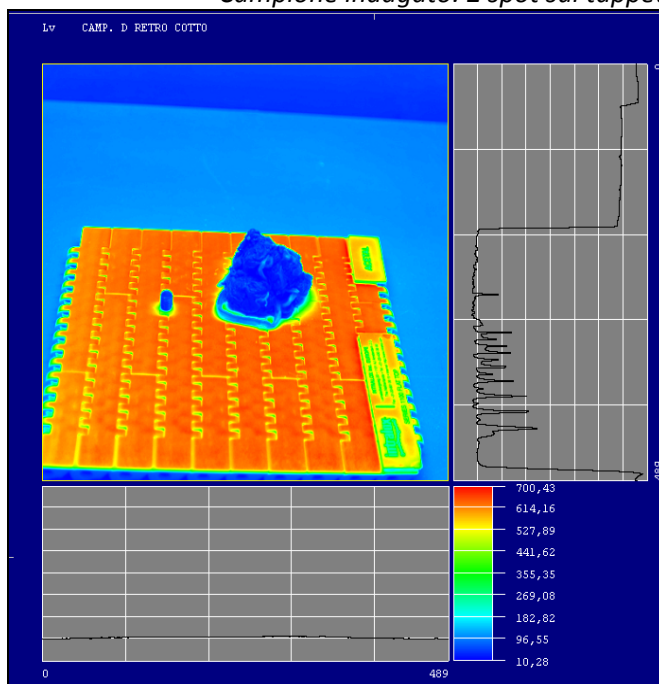
**Colore:** NCS S 0502-B

**Colore percepito:** bianco

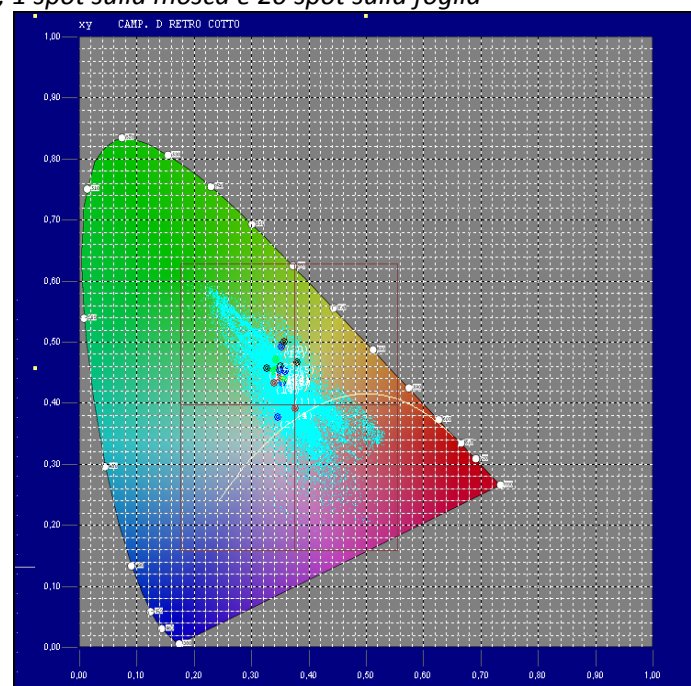
**Foglia spinacio:** cotta



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza Lv*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*



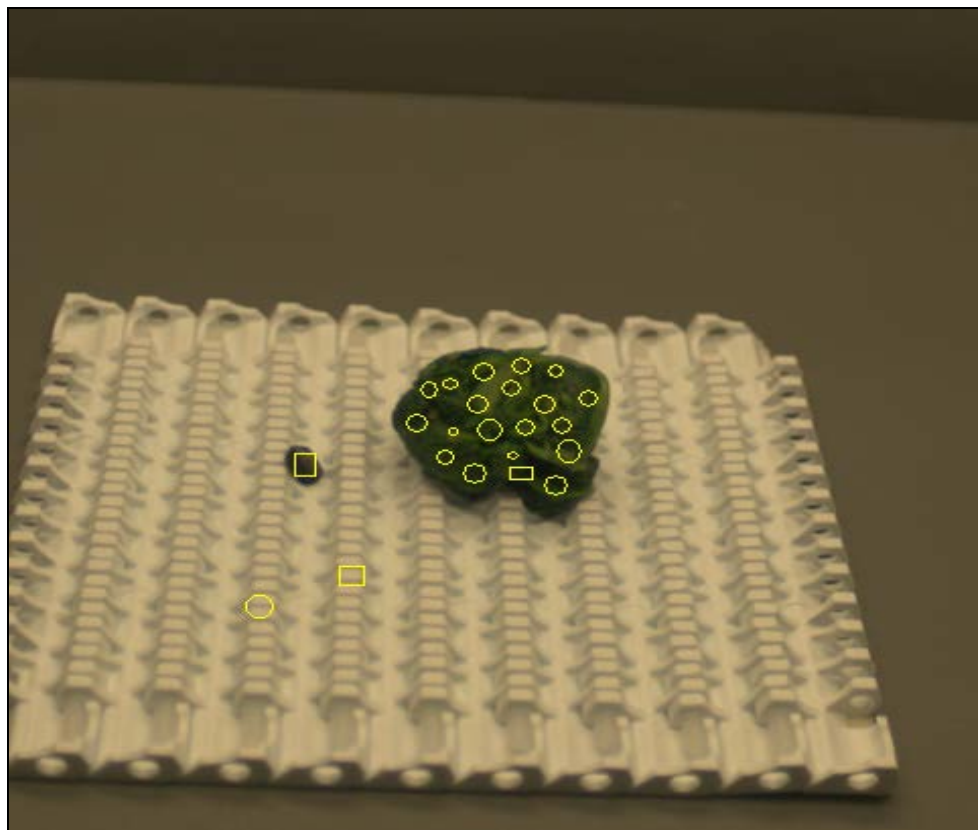
**NASTRO:** CAMPIONE D fronte

**Tipologia:** modulare chiuso

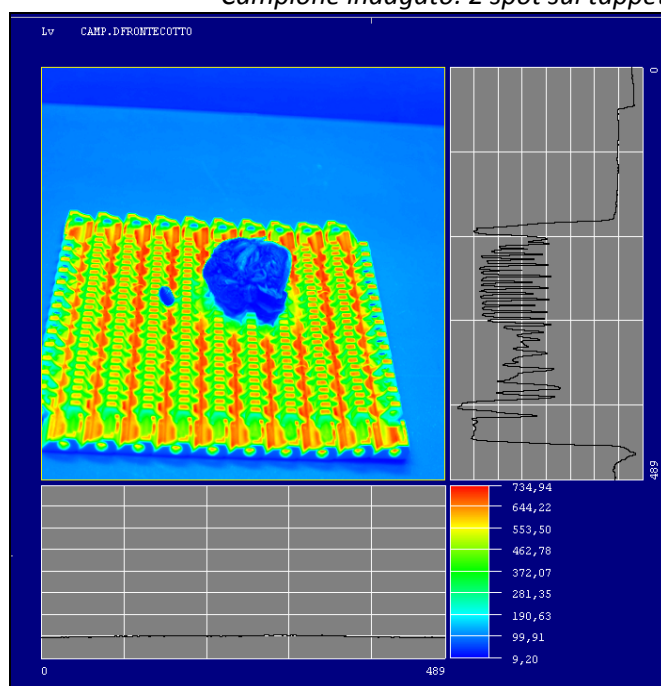
**Colore:** NCS S 0502-B

**Colore percepito:** bianco

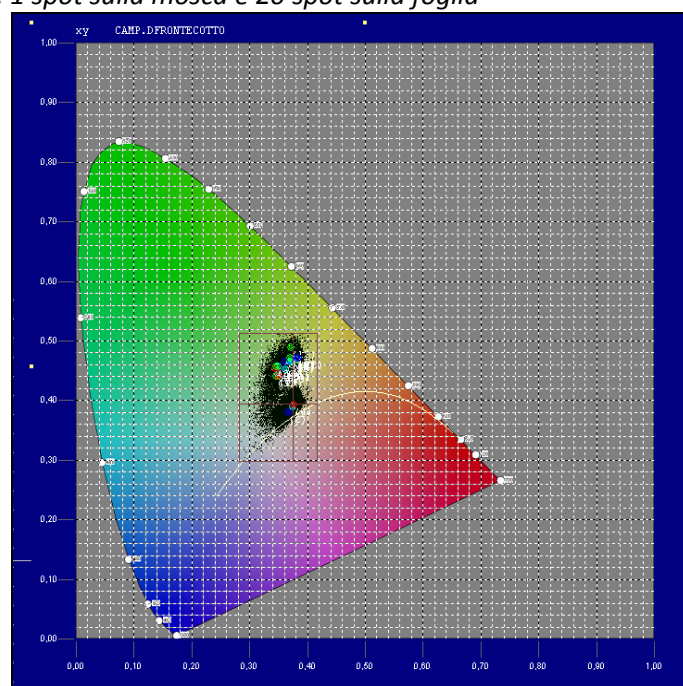
**Foglia spinacio:** cotta



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

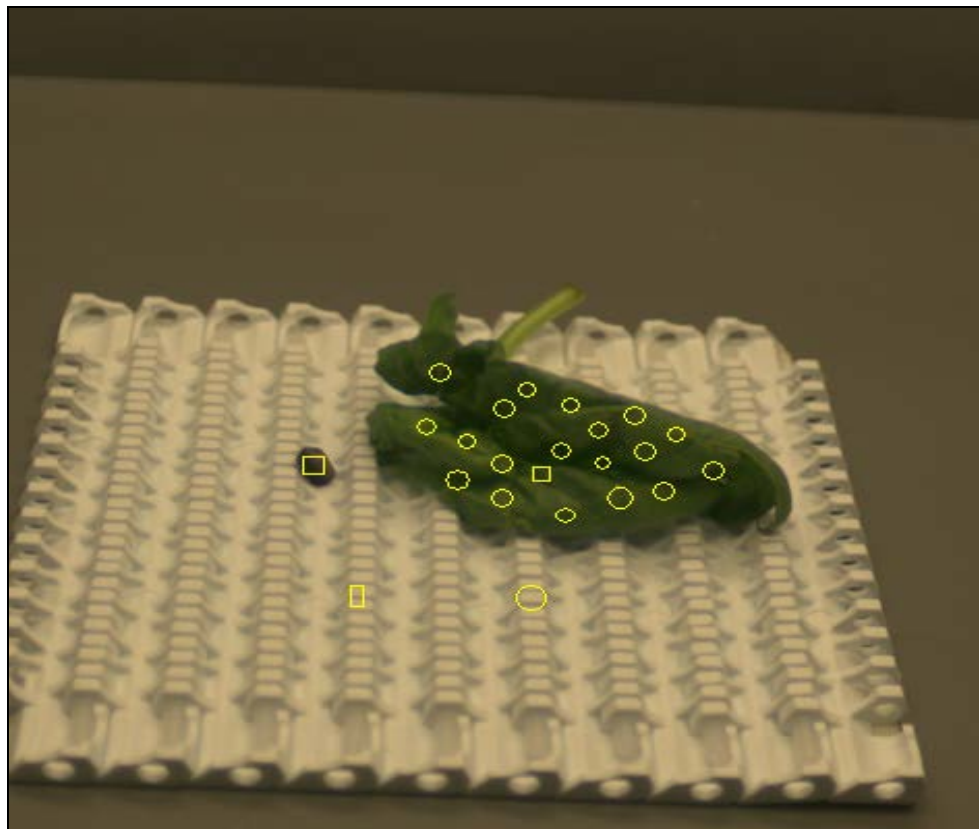
**NASTRO:** CAMPIONE D fronte

**Tipologia:** modulare chiuso

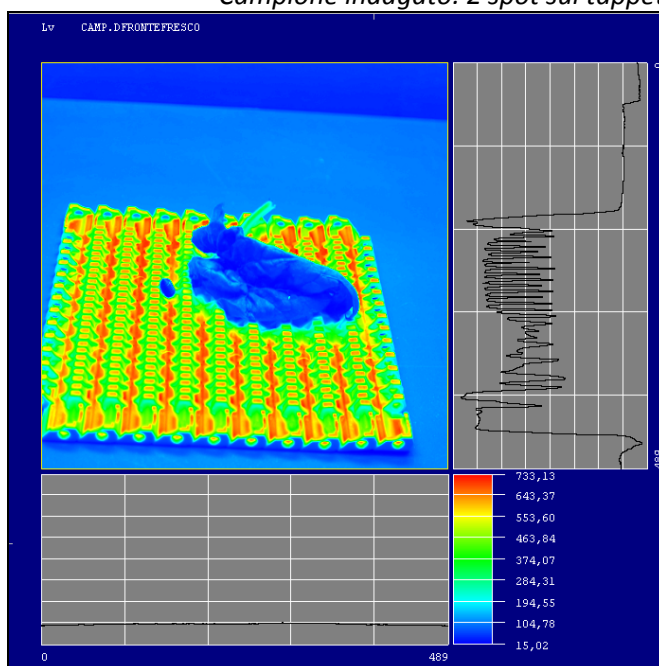
**Colore:** NCS S 0502-B

**Colore percepito:** bianco

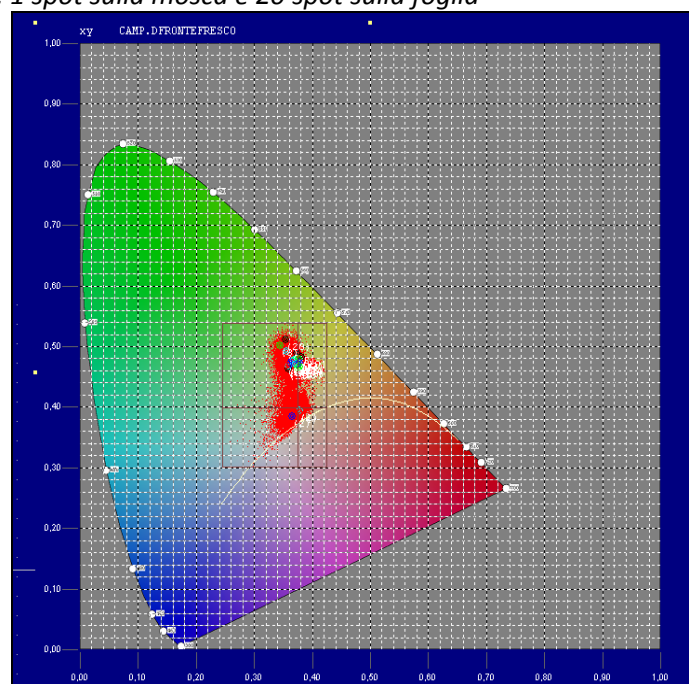
**Foglia spinacio:** fresca



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza Lv*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

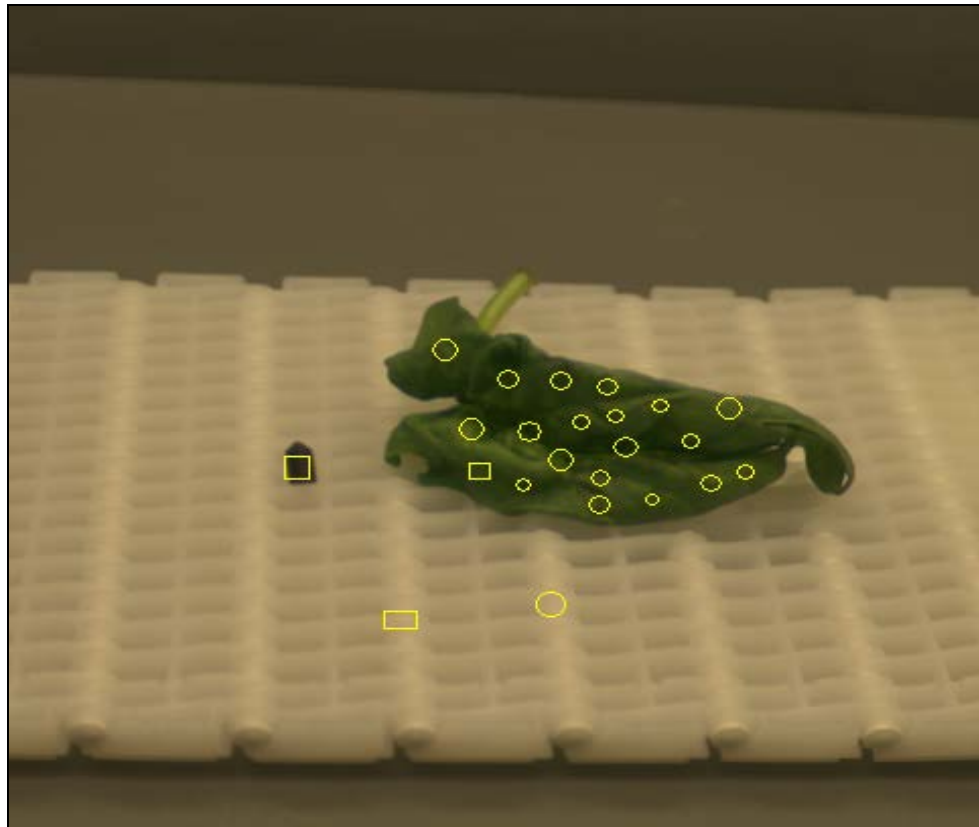
**NASTRO:** CAMPIONE E

**Tipologia:** modulare aperto

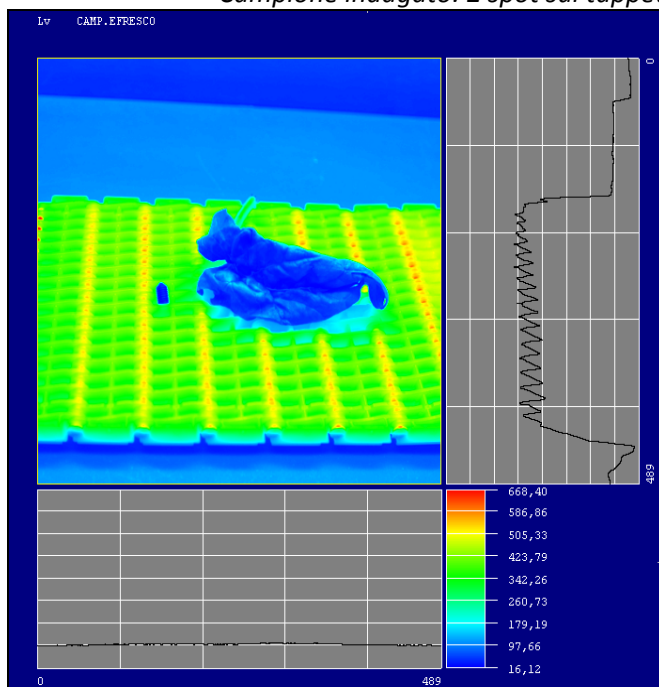
**Colore:** NCS S 0502-B

**Foglia spinacio:** fresca

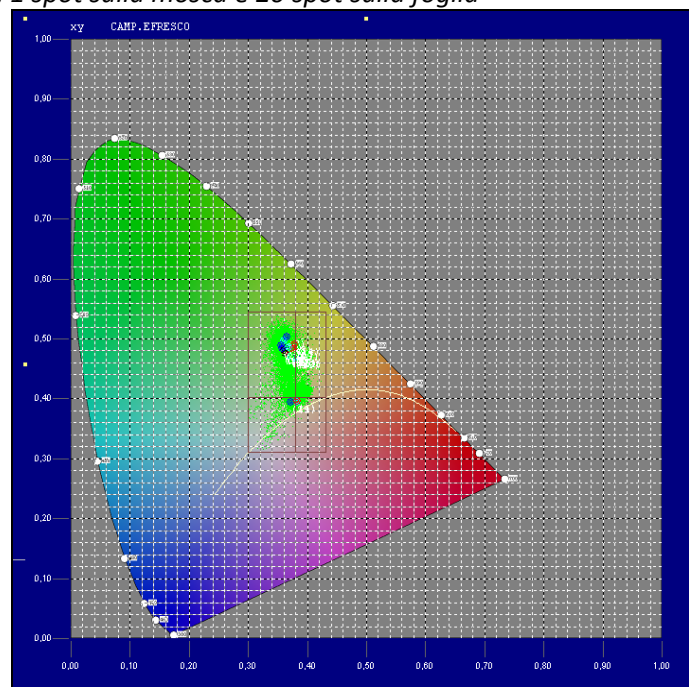
**Colore percepito:** bianco trasparente



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza Lv*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*



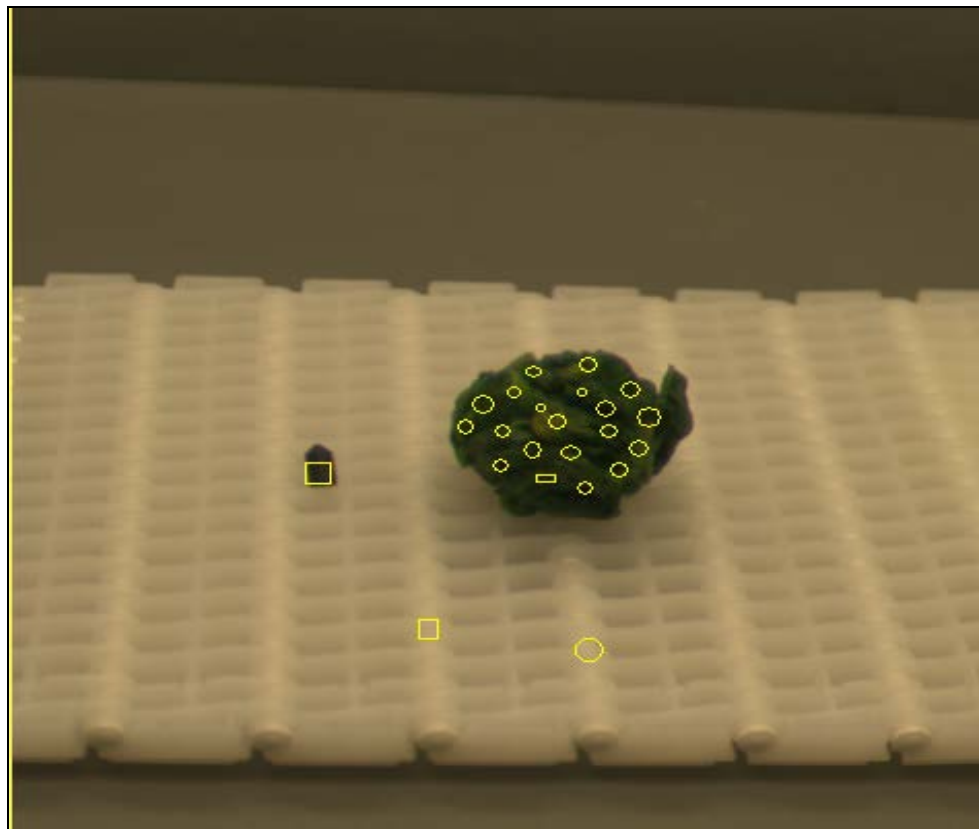
**NASTRO:** CAMPIONE E

**Tipologia:** modulare aperto

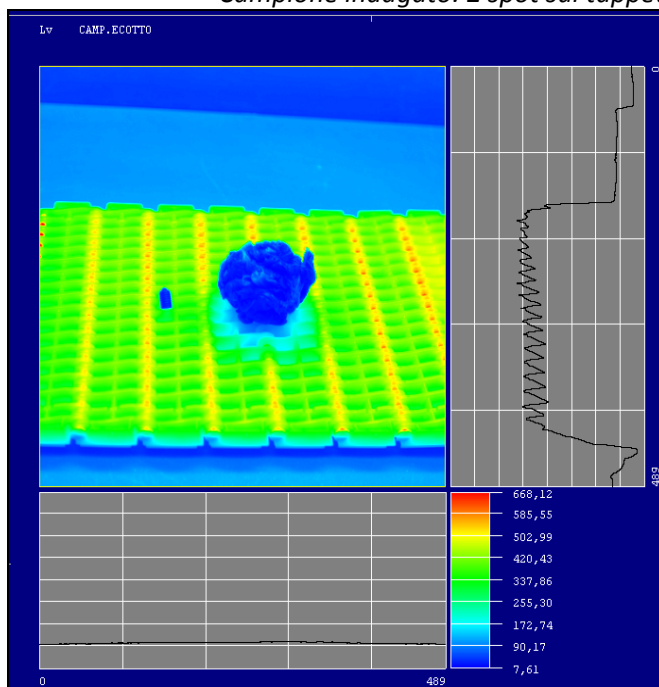
**Colore:** NCS S 0502-B

**Foglia spinacio:** cotta

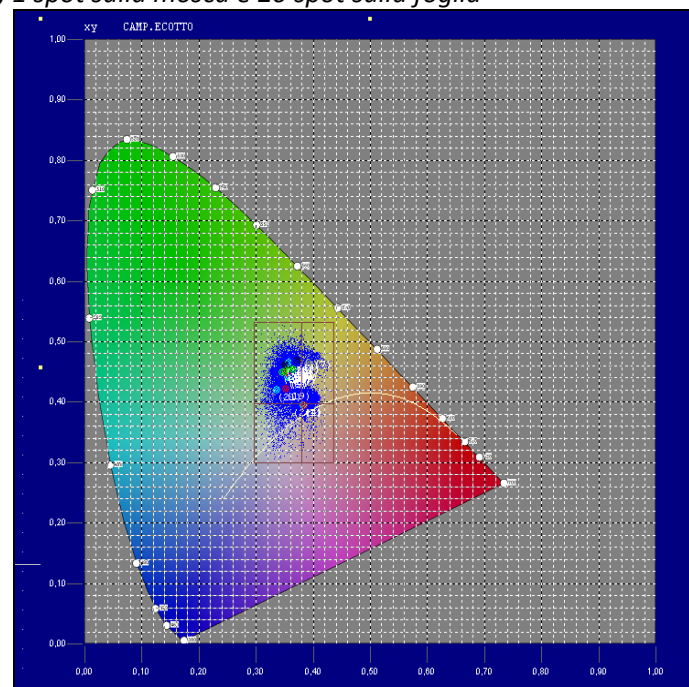
**Colore percepito:** bianco trasparente



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza Lv*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

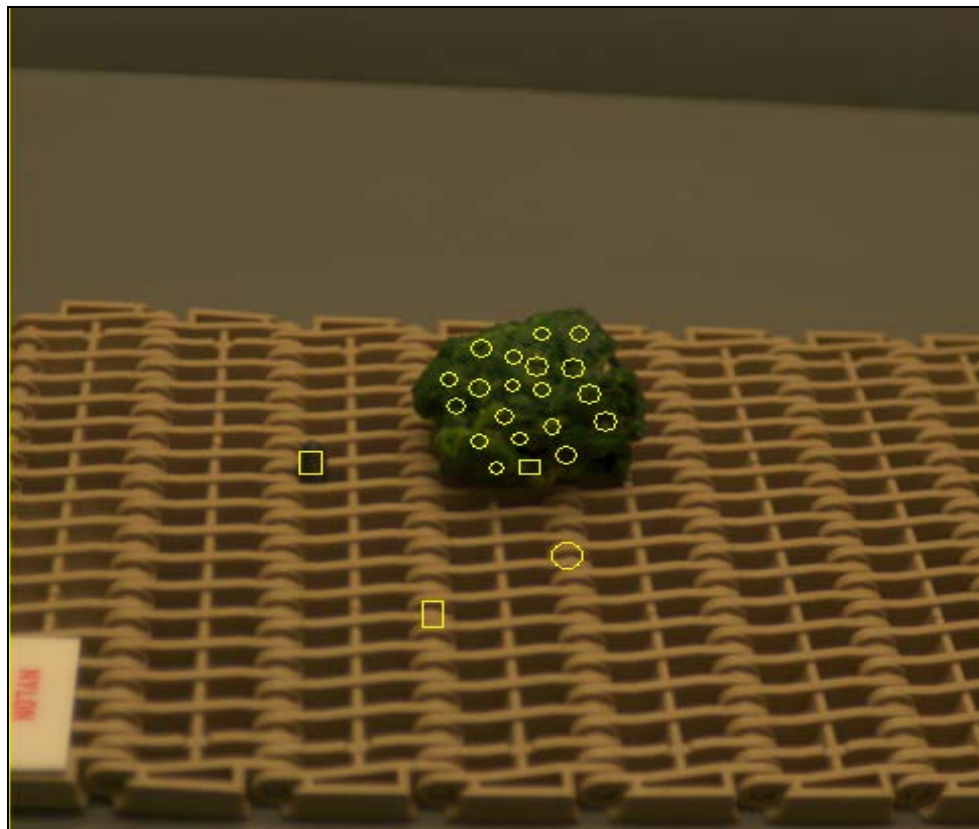
**NASTRO:** CAMPIONE F

**Tipologia:** modulare aperto

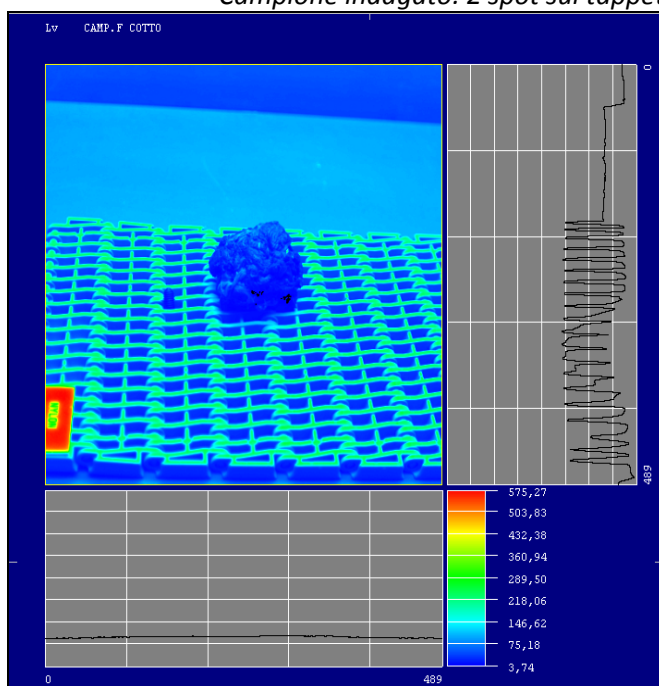
**Colore:** NCS S 3010-Y30R

**Foglia spinacio:** cotta

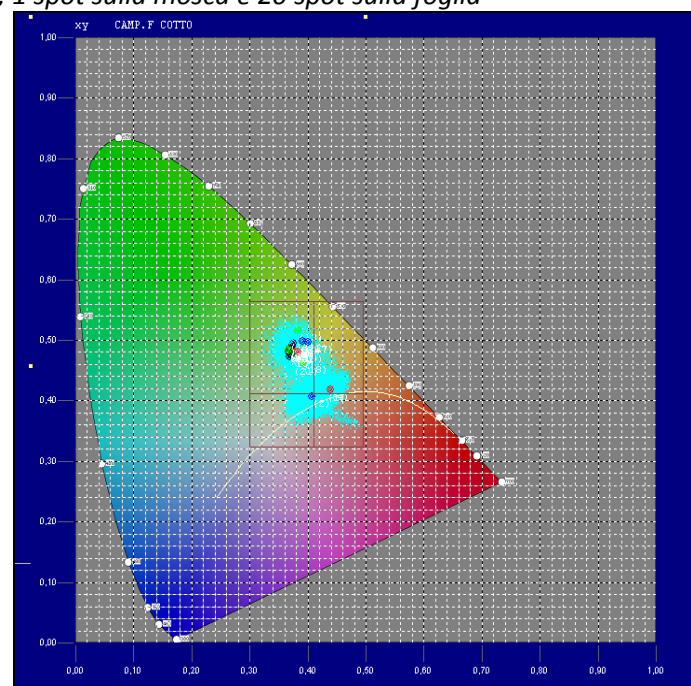
**Colore percepito:** grigio caldo/beige



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza Lv*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

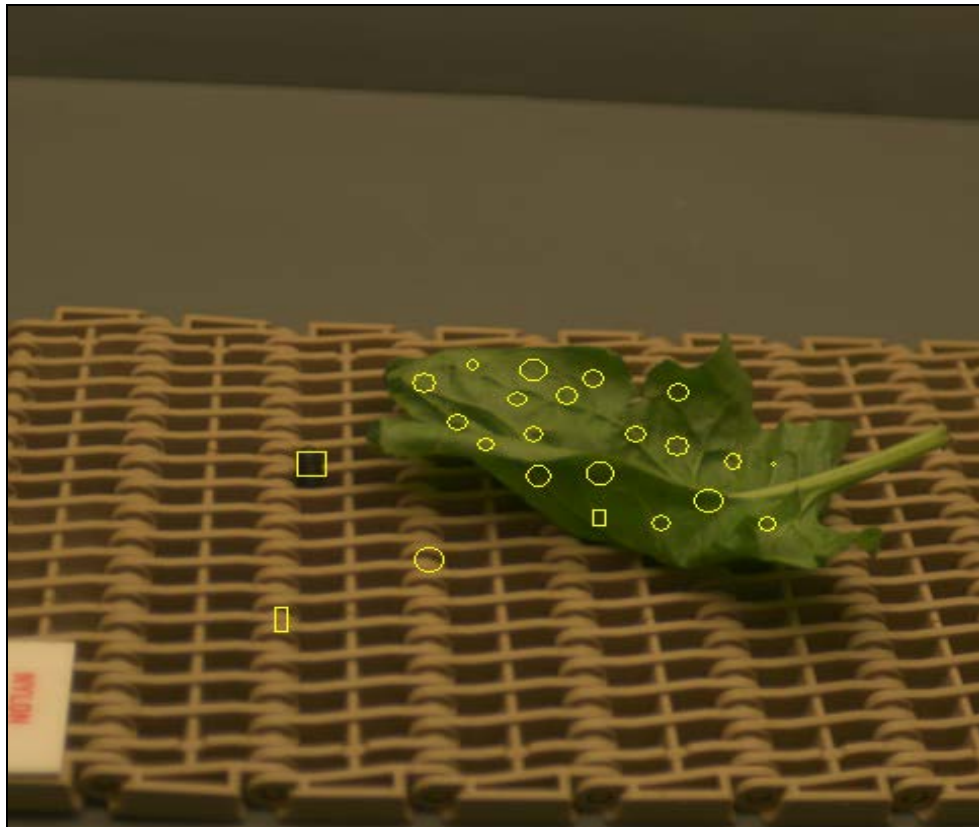
**NASTRO:** CAMPIONE F

**Tipologia:** modulare aperto

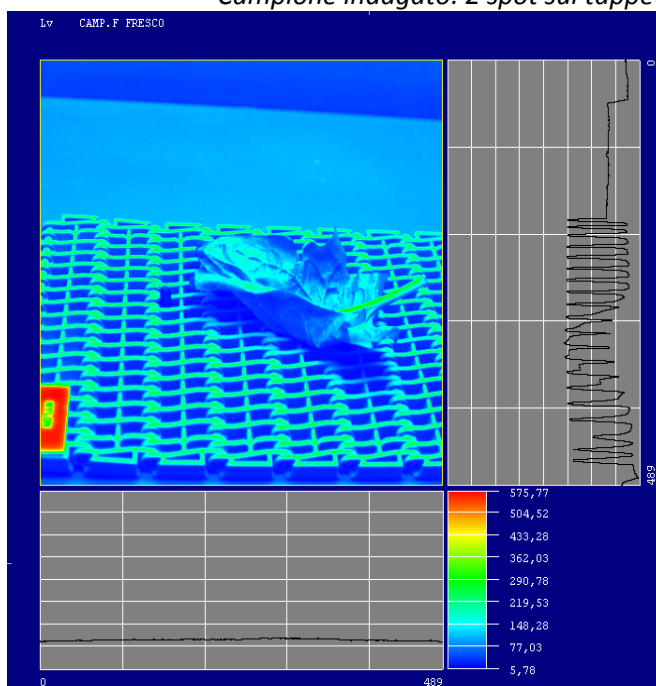
**Colore:** NCS S 3010-Y30R

**Foglia spinacio:** fresca

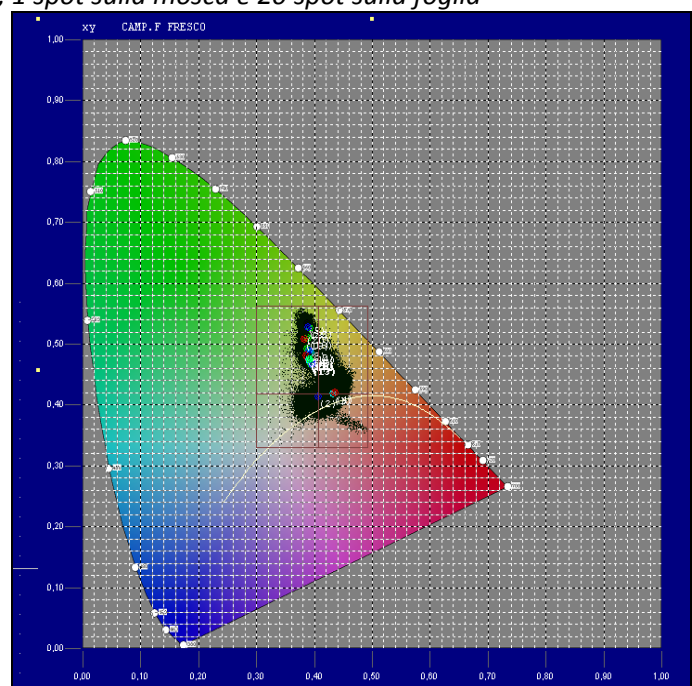
**Colore percepito:** grigio caldo/beige



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza Lv*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

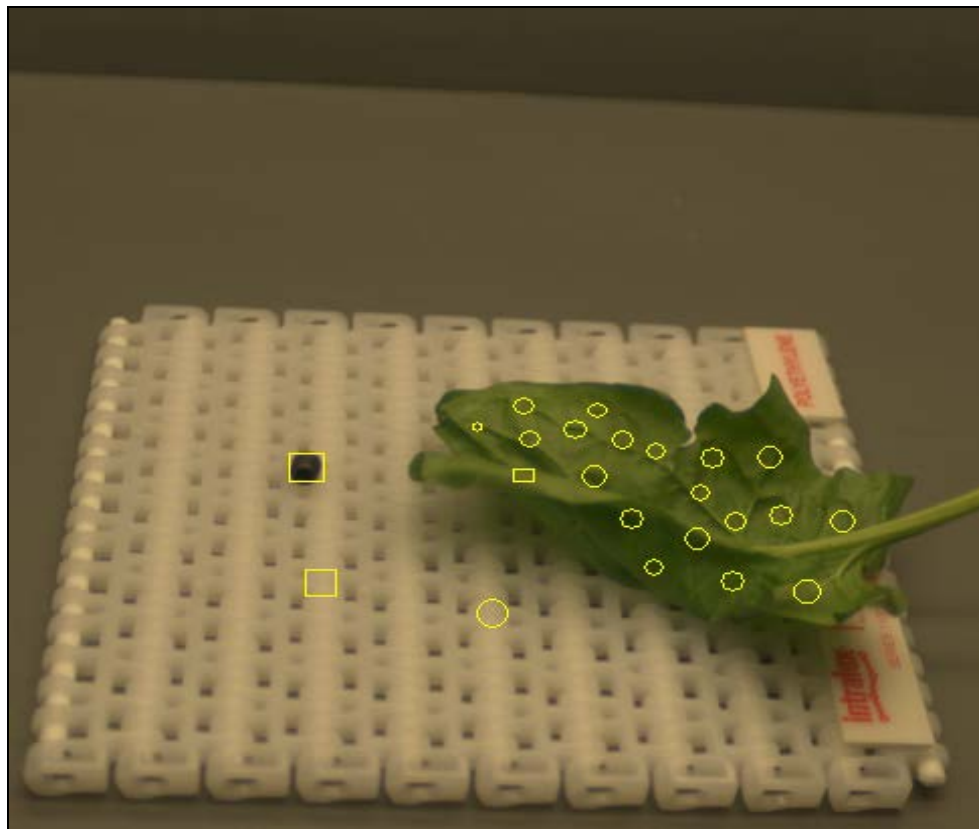
**NASTRO:** CAMPIONE G

**Tipologia:** modulare aperto

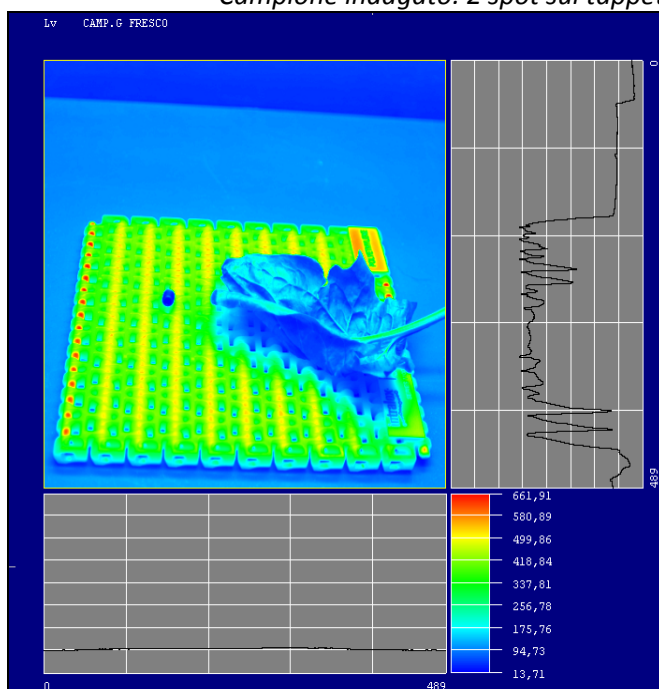
**Colore:** NCS S 0502-B

**Foglia spinacio:** fresca

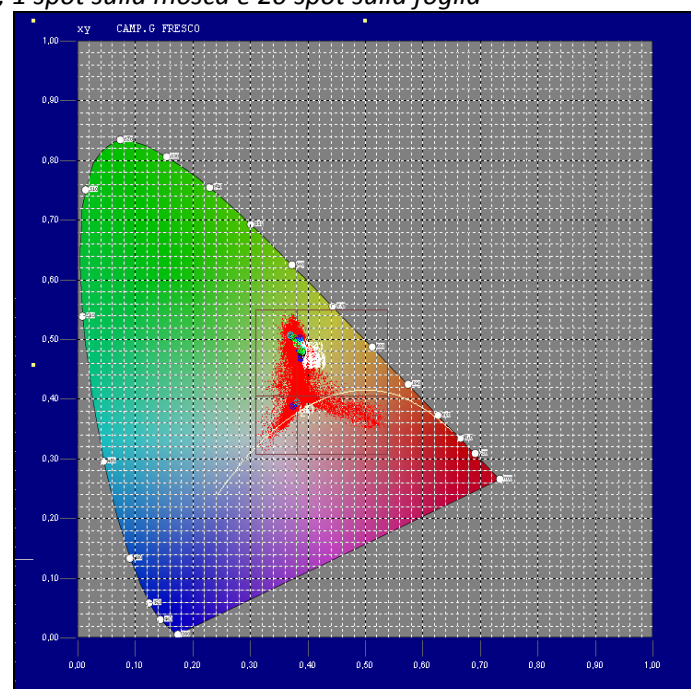
**Colore percepito:** bianco trasparente



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza Lv*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*



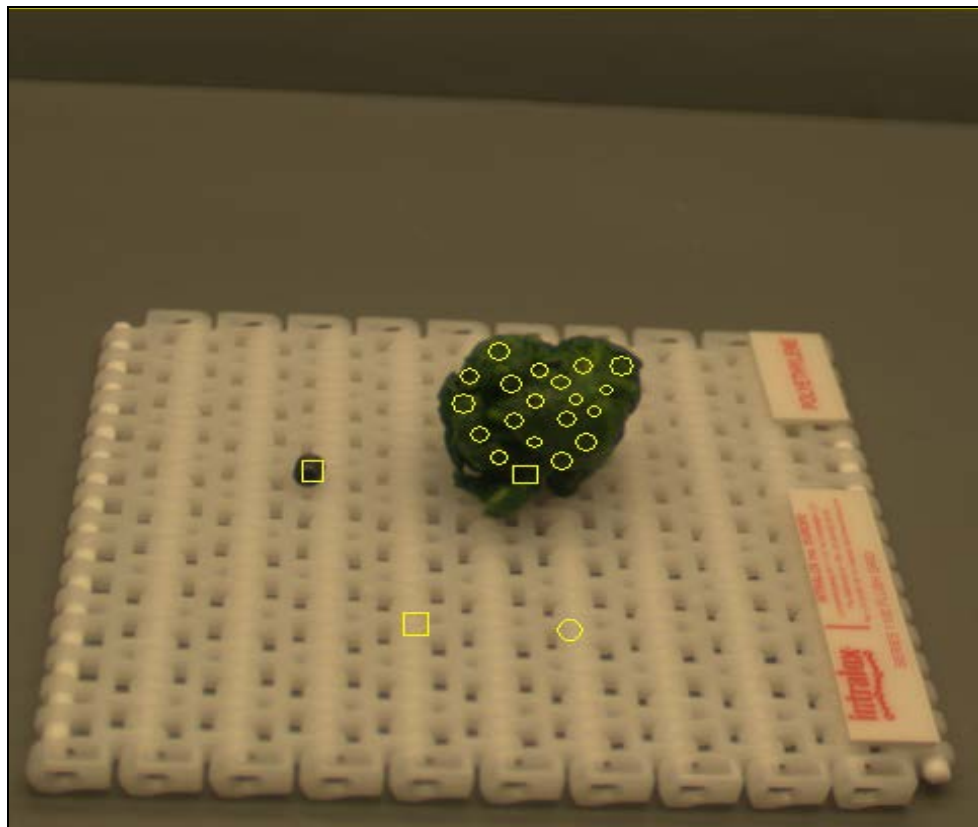
**NASTRO:** CAMPIONE G

**Tipologia:** modulare aperto

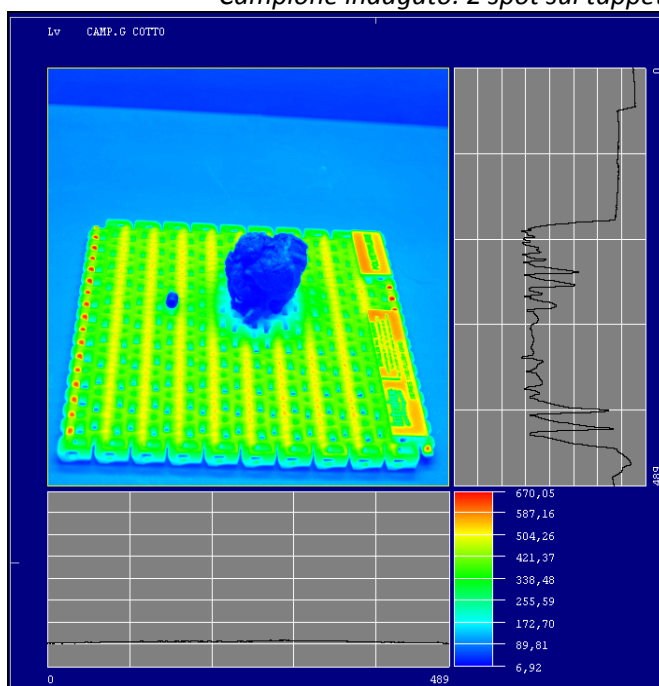
**Colore:** NCS S 0502-B

**Foglia spinacio:** cotta

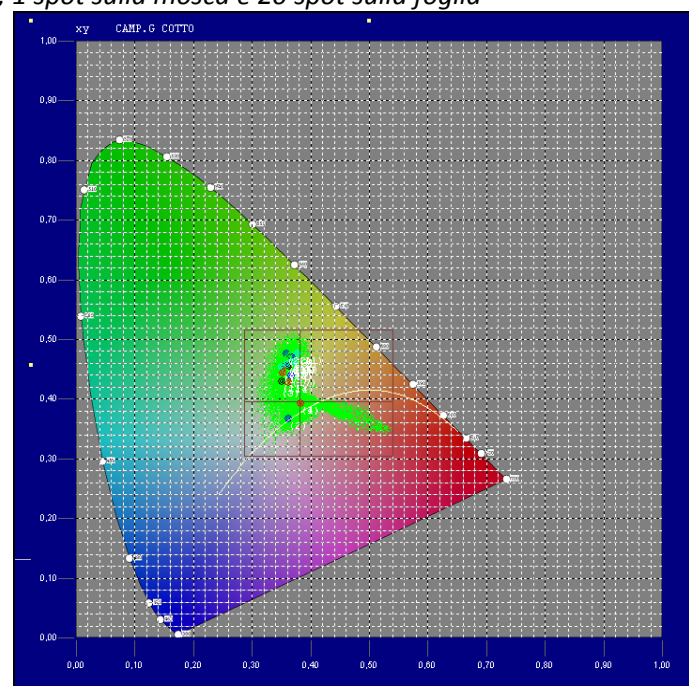
**Colore percepito:** bianco trasparente



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

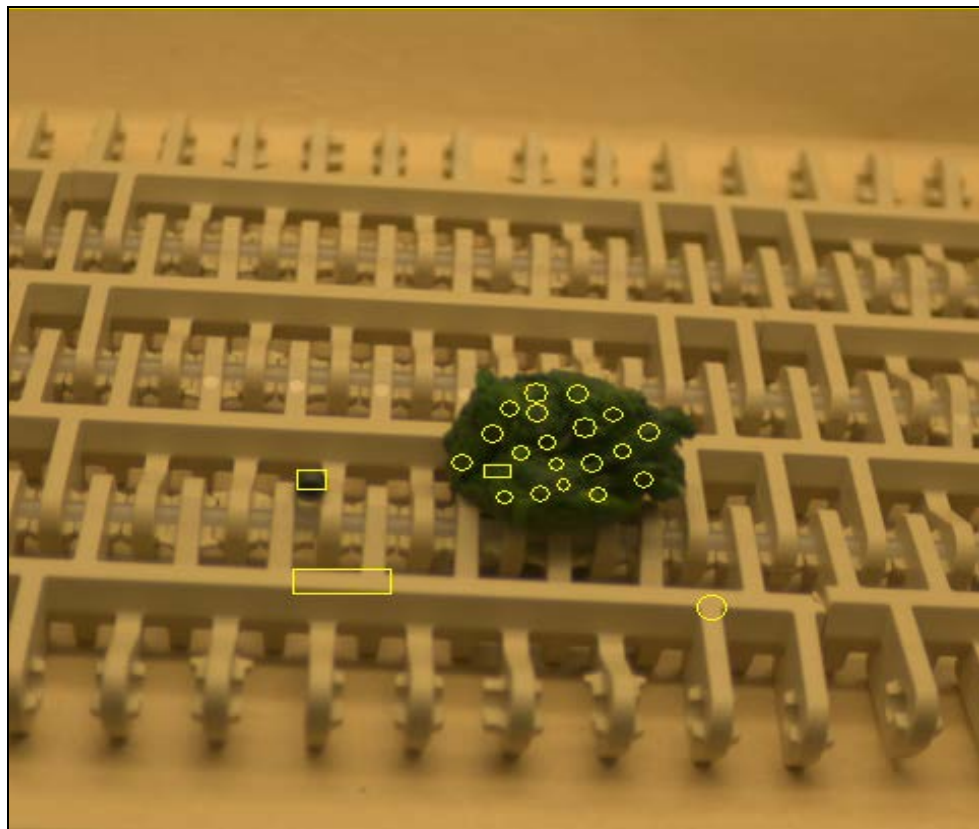
**NASTRO:** CAMPIONE P

**Tipologia:** modulare aperto

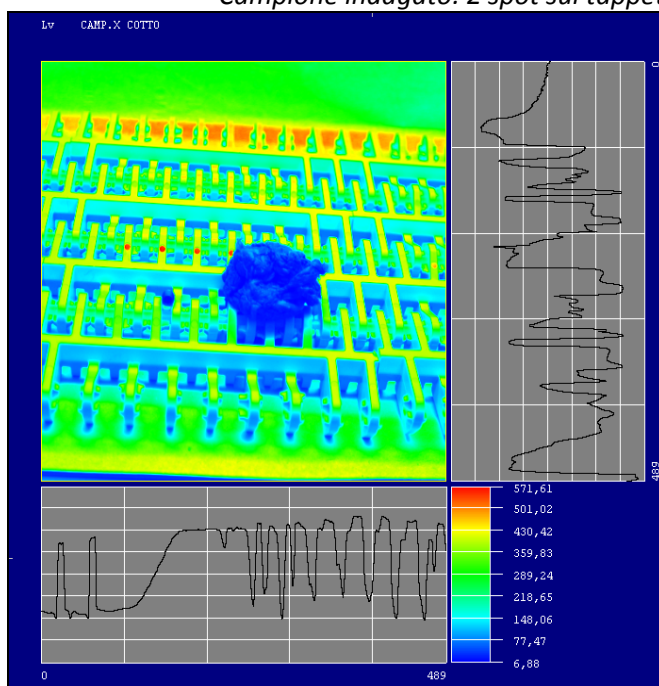
**Colore:** NCS S 1505-Y30R

**Foglia spinacio:** cotta

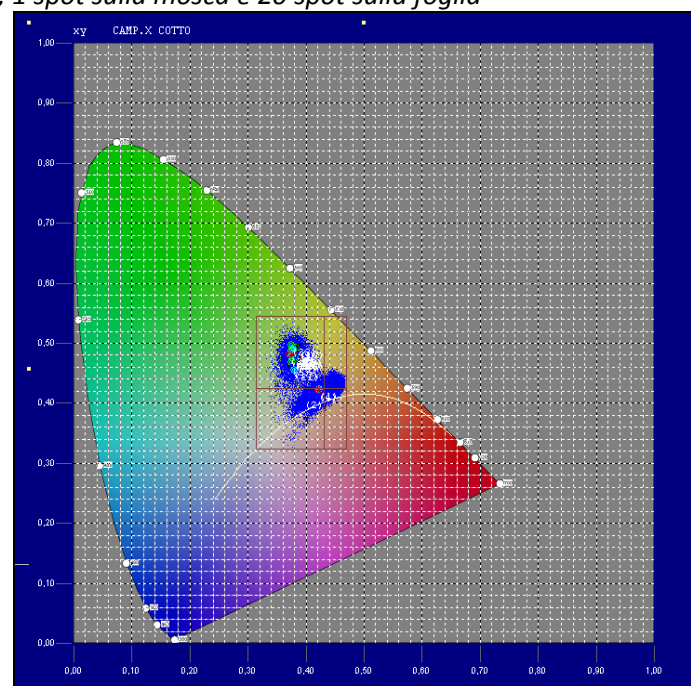
**Colore percepito:** grigio caldo/beige



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

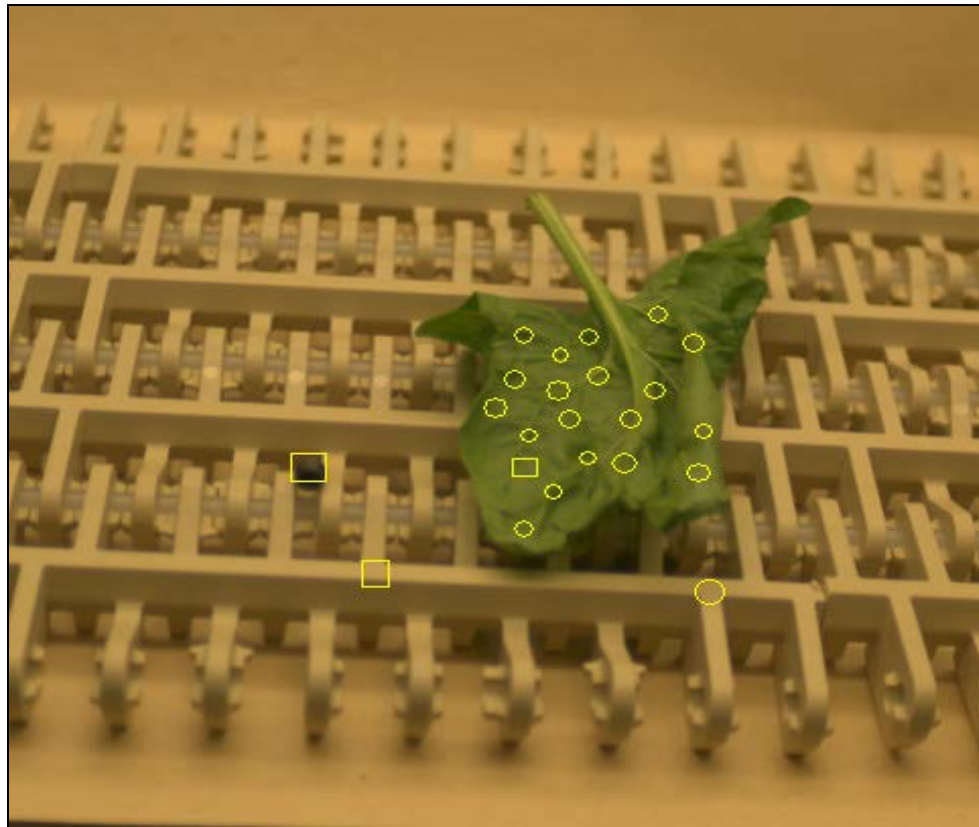
**NASTRO:** CAMPIONE P

**Tipologia:** modulare aperto

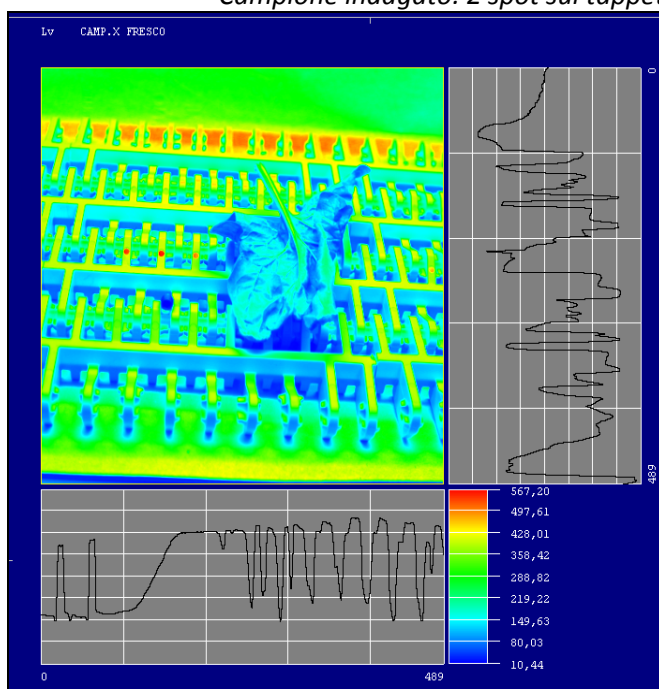
**Colore:** NCS S 1505-Y30R

**Foglia spinacio:** fresca

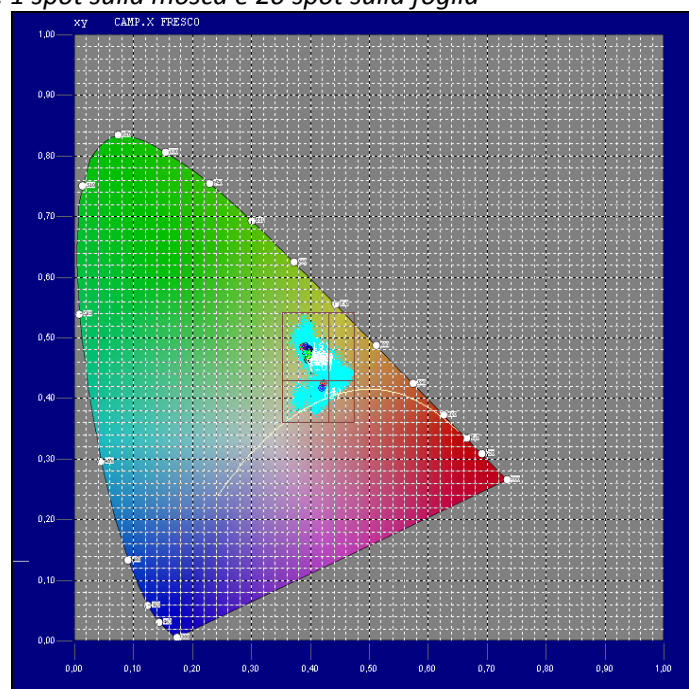
**Colore percepito:** grigio caldo/beige



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*

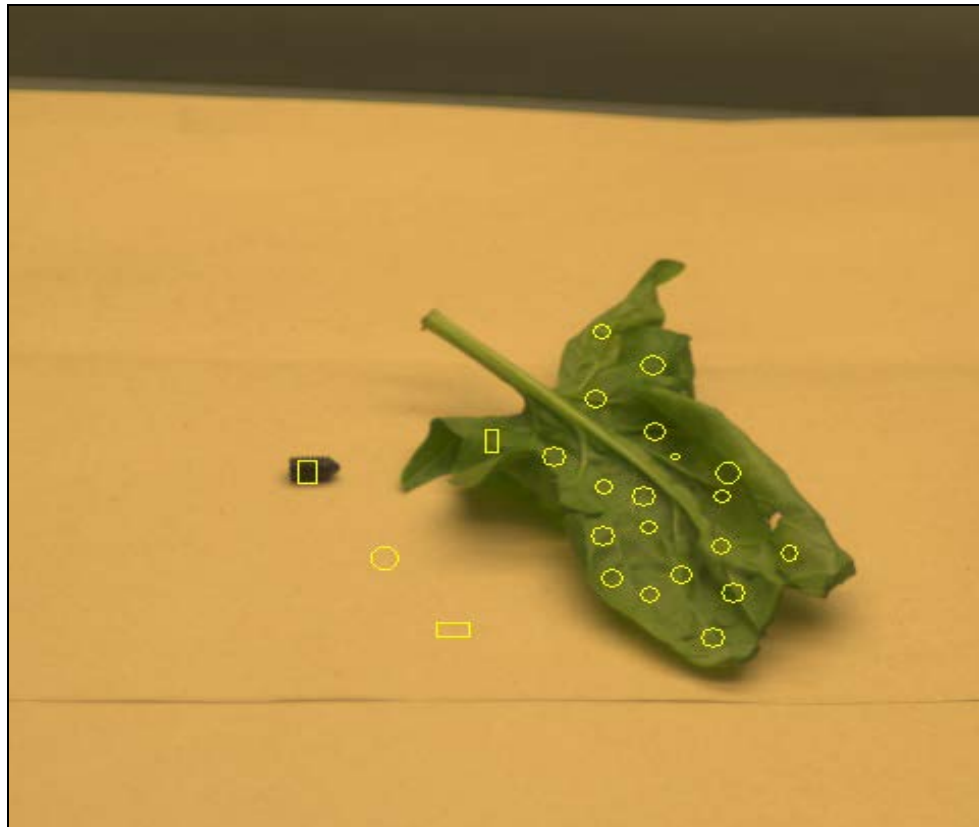


*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

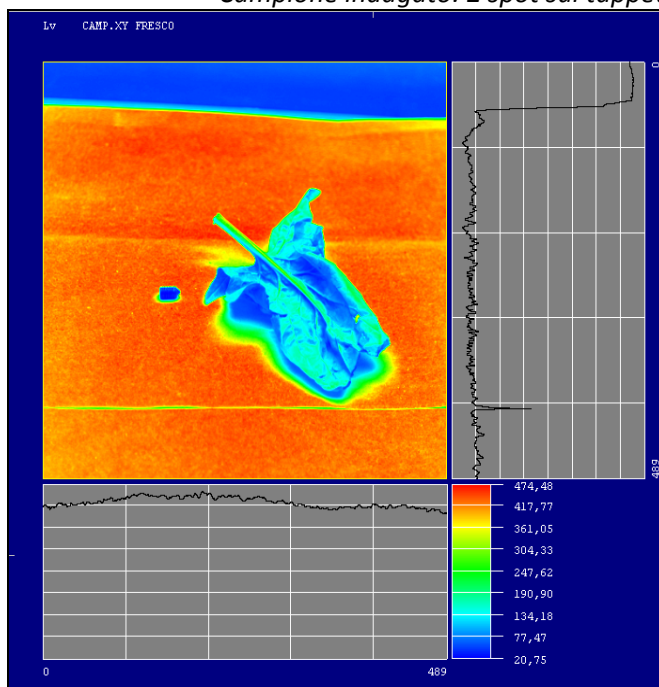


**NASTRO: CAMPIONE 7**  
**Tipologia:** carta pesante  
**Colore:** NCS S 1010-Y30R  
**Foglia spinacio:** fresca

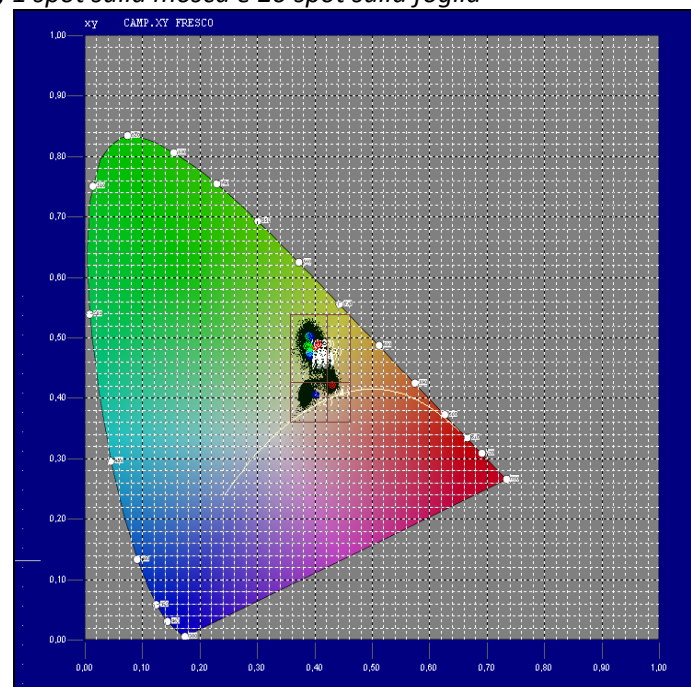
**Colore percepito:** grigio caldo chiaro



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



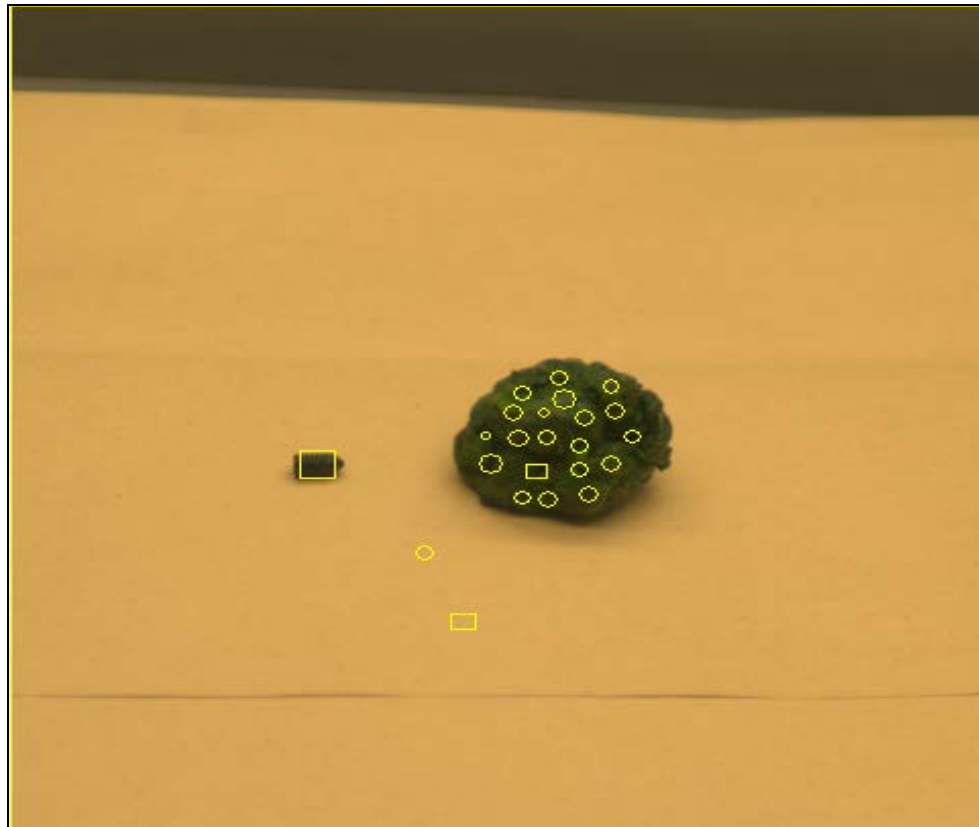
*La luminanza  $L_v$*



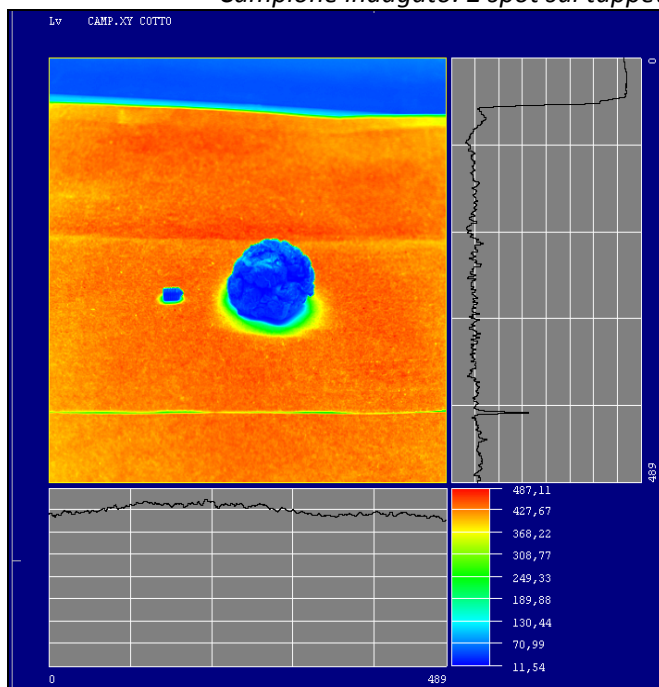
*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

**NASTRO: CAMPIONE 7**  
**Tipologia:** carta pesante  
**Colore:** NCS S 1010-Y30R  
**Foglia spinacio:** cotta

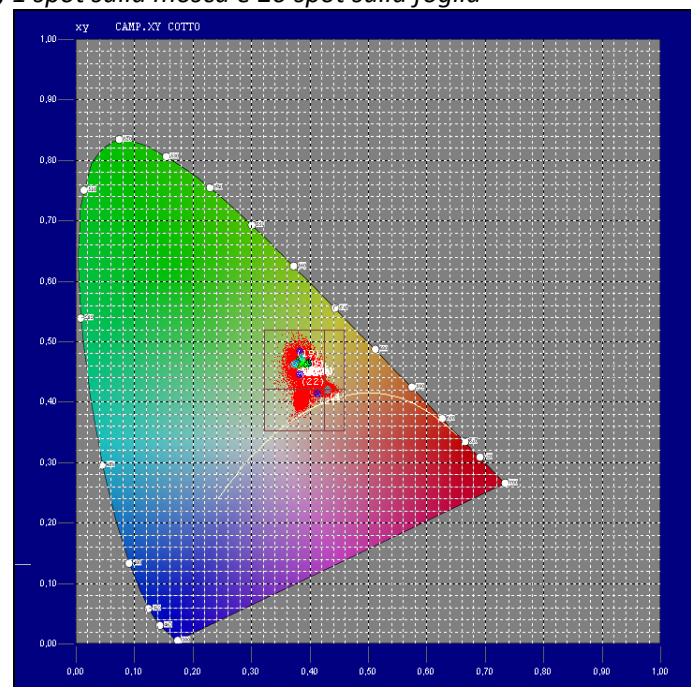
**Colore percepito:** grigio caldo chiaro



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

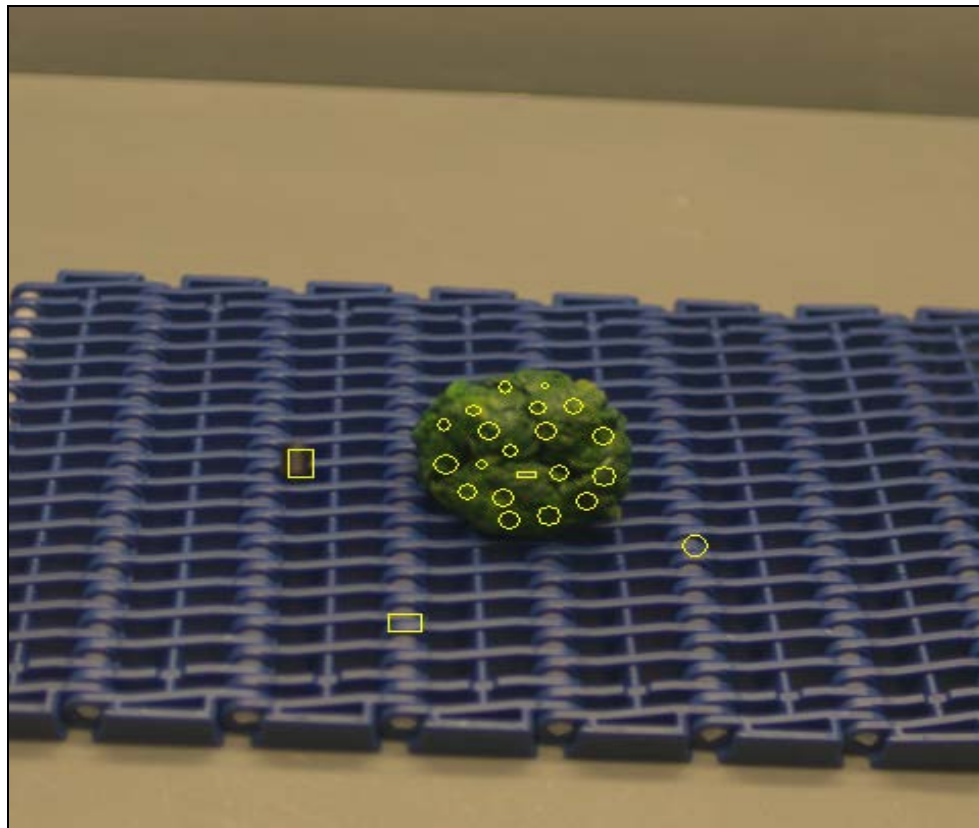
**NASTRO:** CAMPIONE H

**Tipologia:** modulare aperto

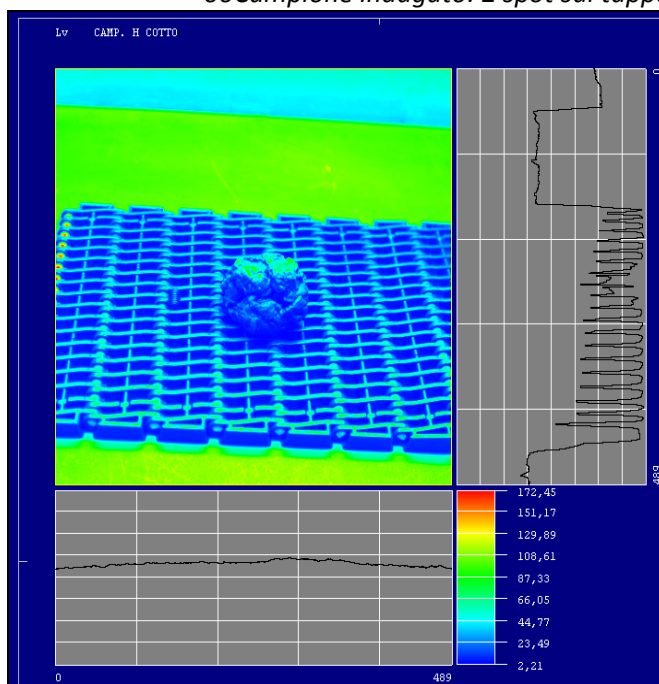
**Colore:** NCS S NCS S 3060-R80B

**Colore percepito:** blu

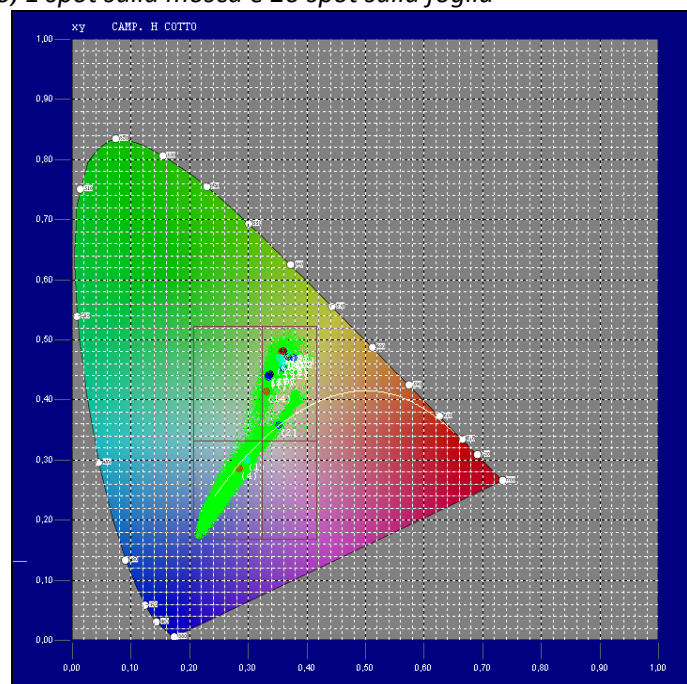
**Foglia spinacio:** cotta



00Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia



La luminanza  $L_v$



I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931

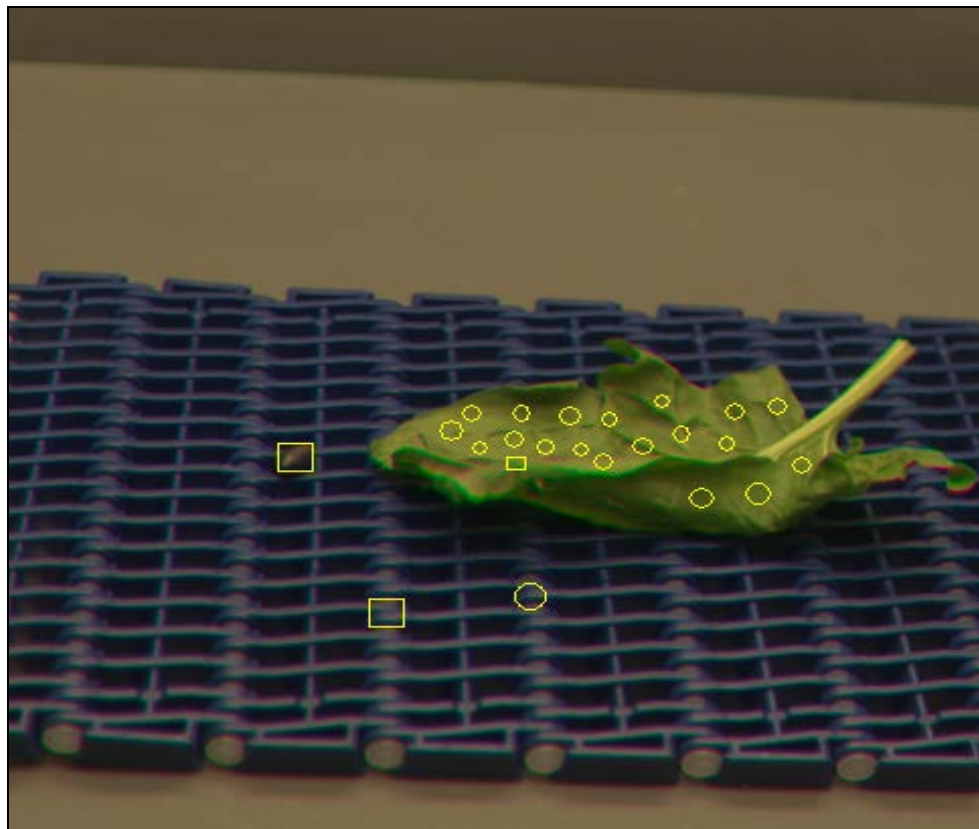
**NASTRO:** CAMPIONE H

**Tipologia:** modulare aperto

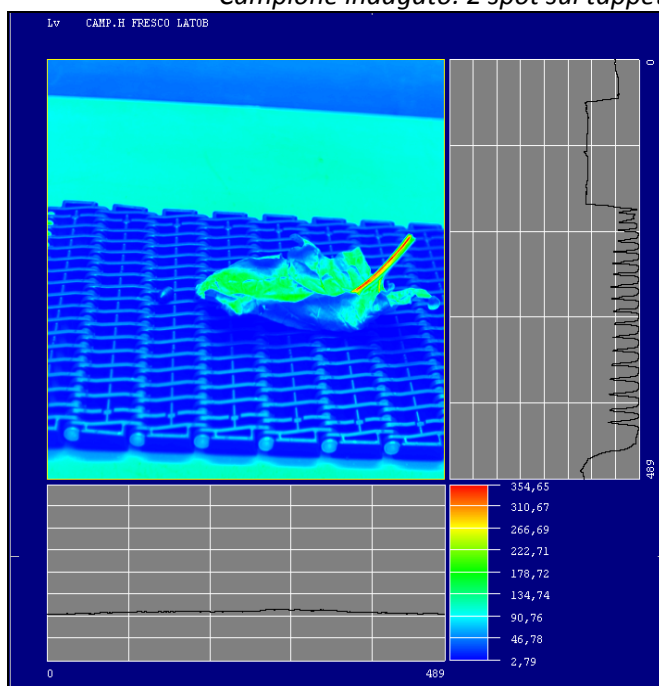
**Colore:** NCS S NCS S 3060-R80B

**Colore percepito:** blu

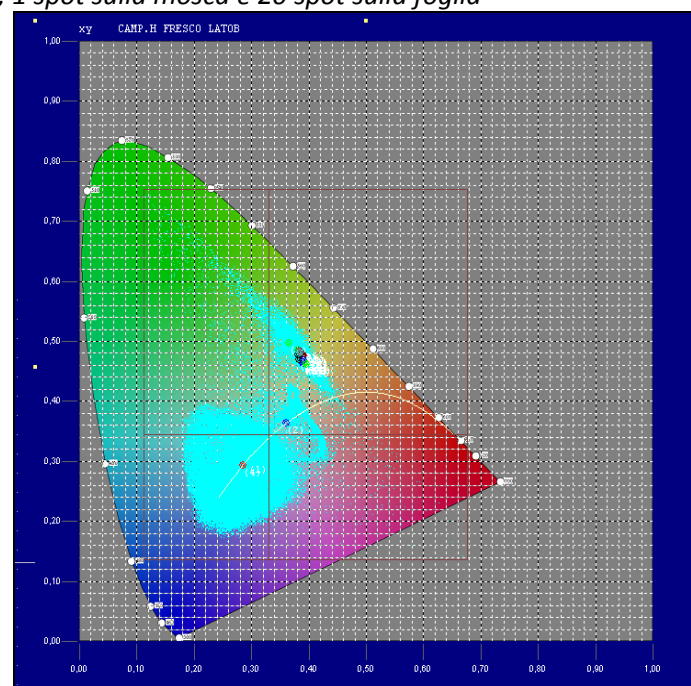
**Foglia spinacio:** fresca



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*



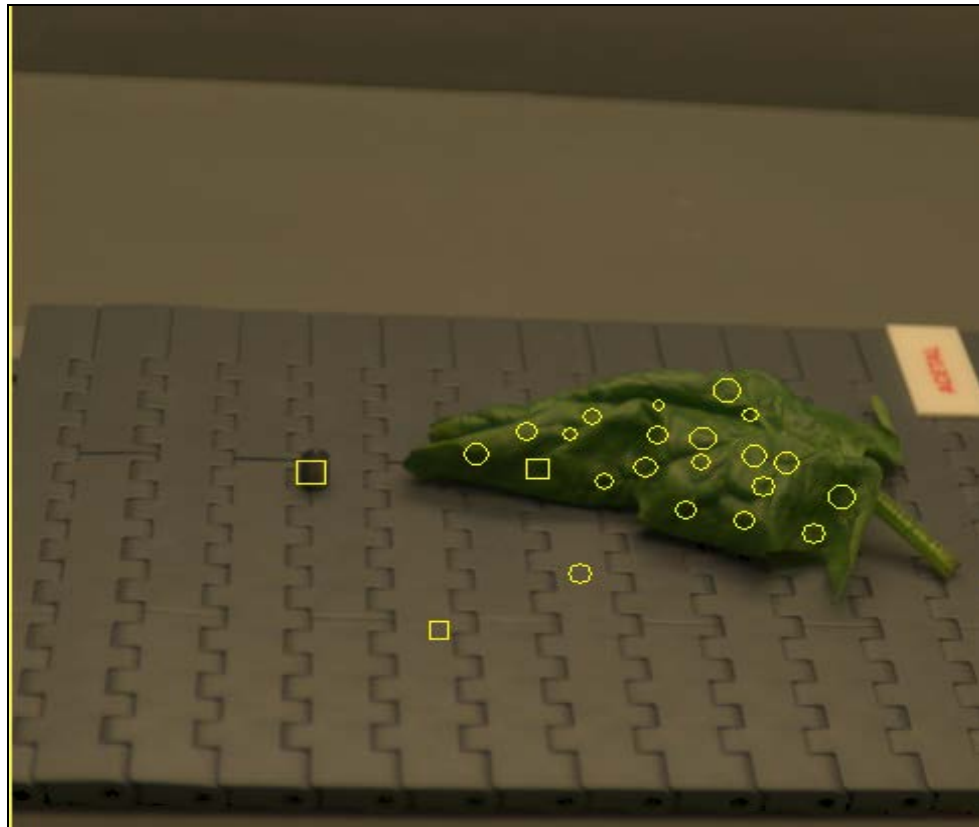
**NASTRO:** CAMPIONE I retro

**Tipologia:** modulare chiuso

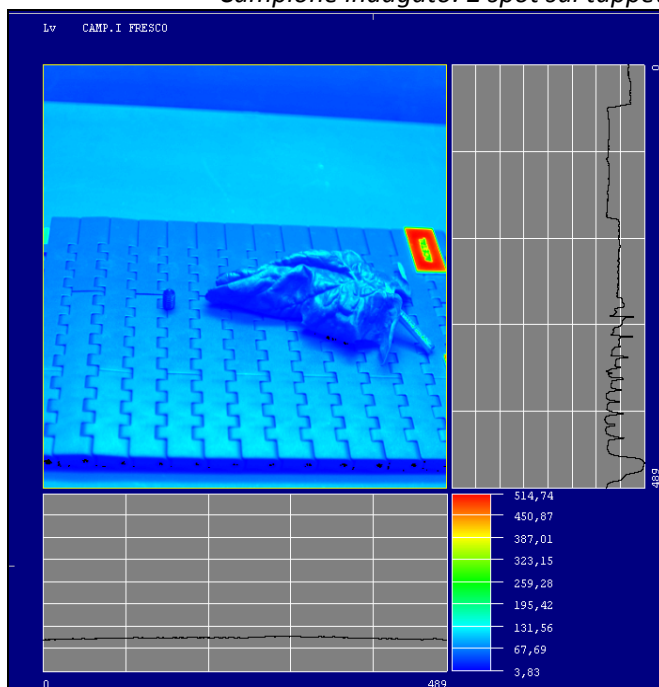
**Colore:** NCS S 6005-B20G

**Foglia spinacio:** fresca

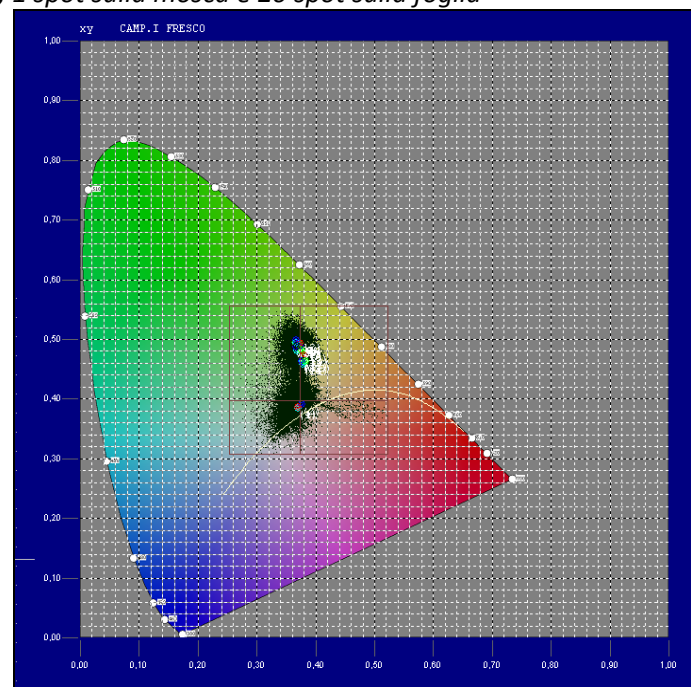
**Colore percepito:** grigio scuro



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza Lv*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

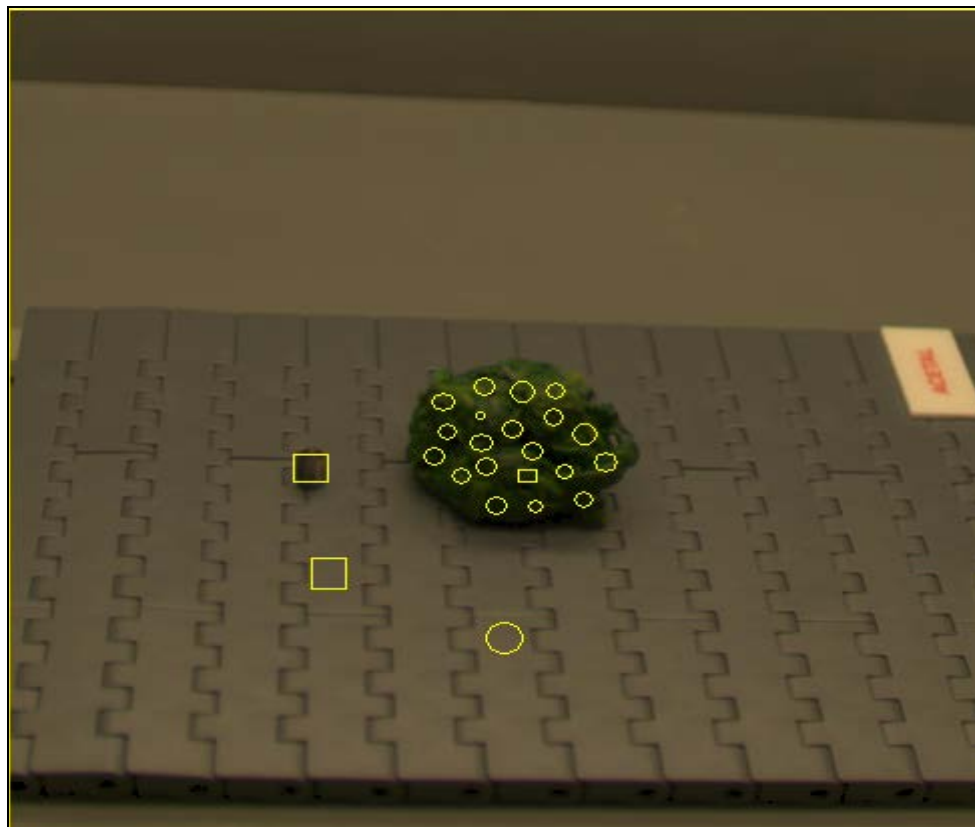
**NASTRO:** CAMPIONE I retro

**Tipologia:** modulare chiuso

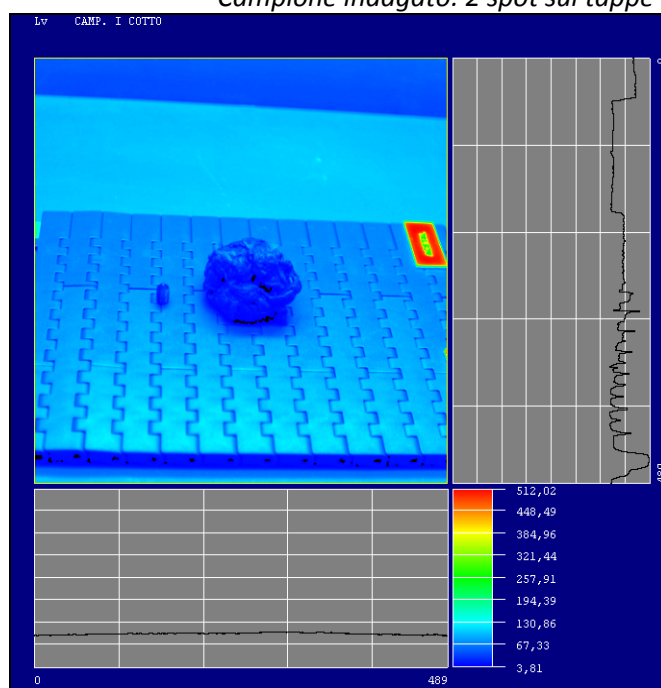
**Colore:** NCS S 6005-B20G

**Foglia spinacio:** cotta

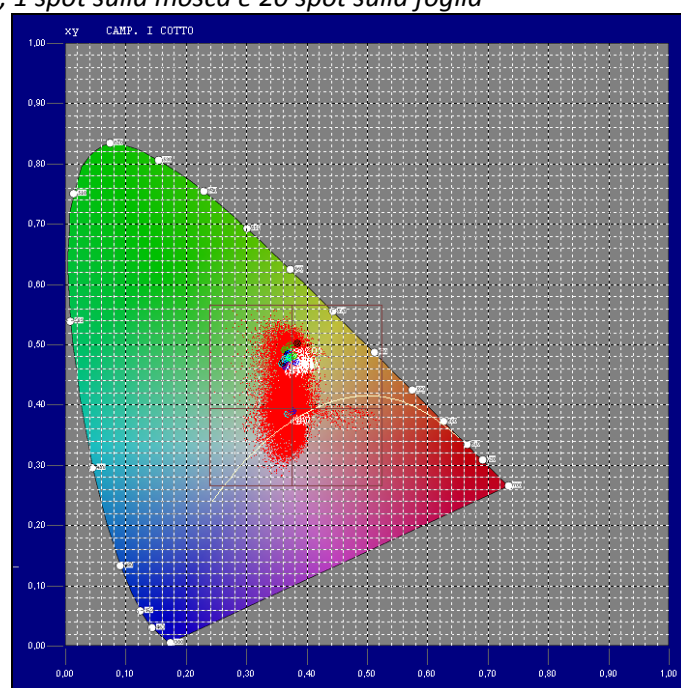
**Colore percepito:** grigio scuro



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

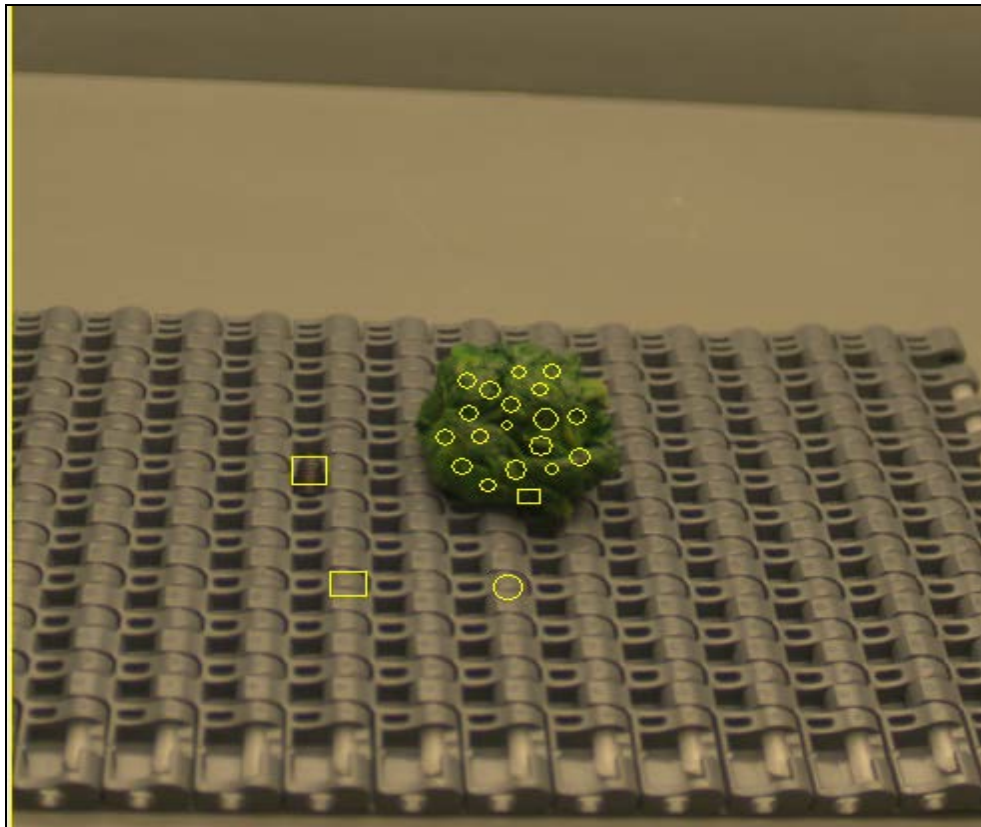
**NASTRO:** CAMPIONE I fronte

**Tipologia:** modulare chiuso

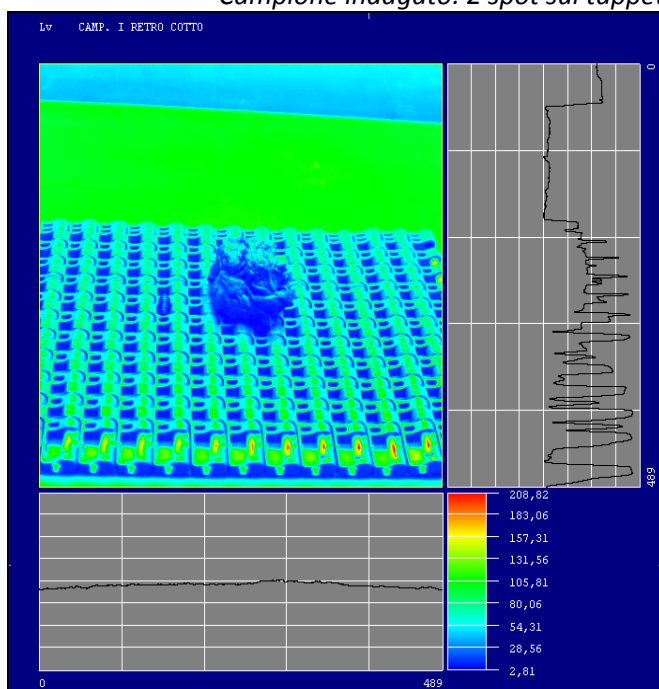
**Colore:** NCS S 6005-B20G

**Foglia spinacio:** cotta

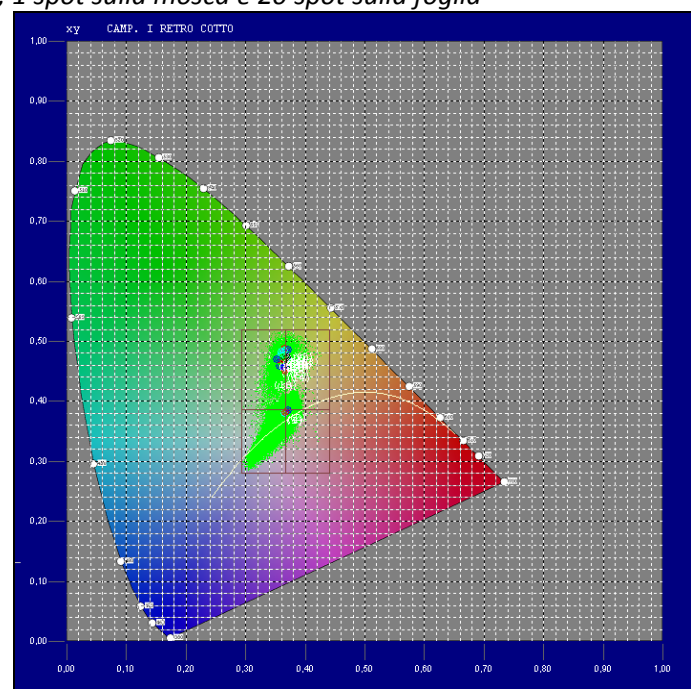
**Colore percepito:** grigio scuro



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*

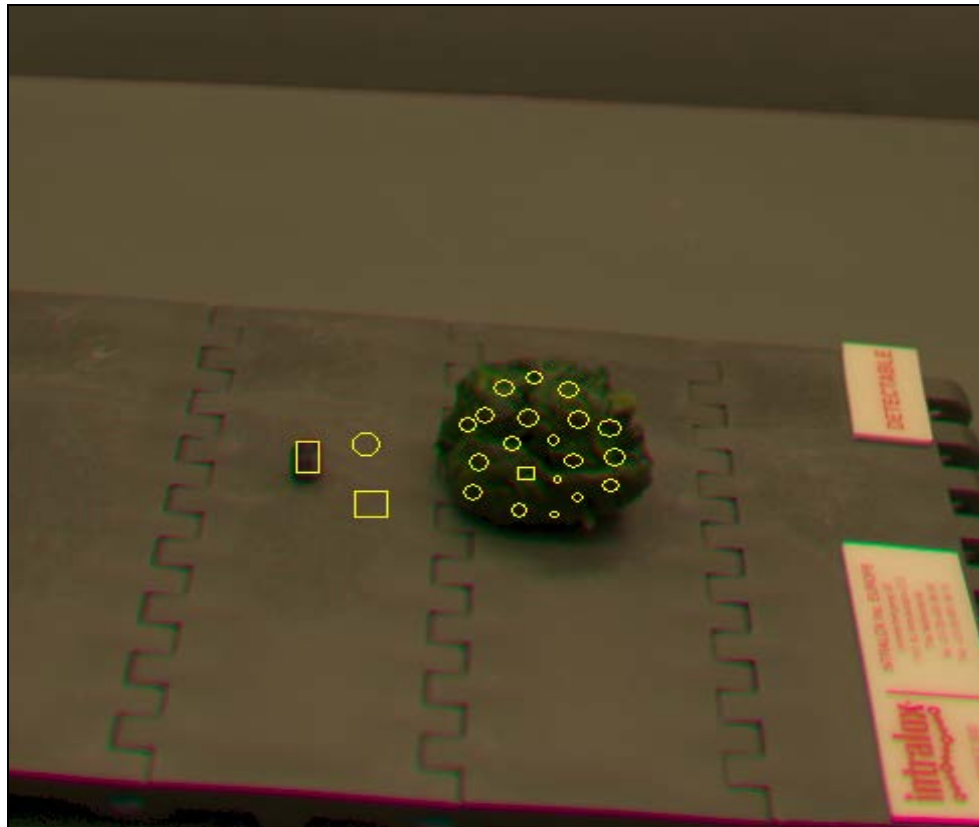


*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

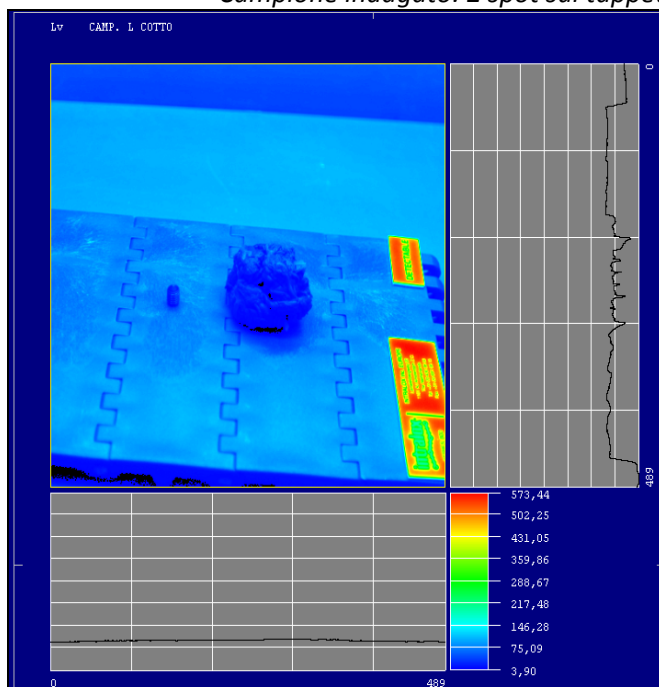


**NASTRO:** CAMPIONE L retro  
**Tipologia:** modulare chiuso  
**Colore:** NCS S 6005-B20G  
**Foglia spinacio:** cotta

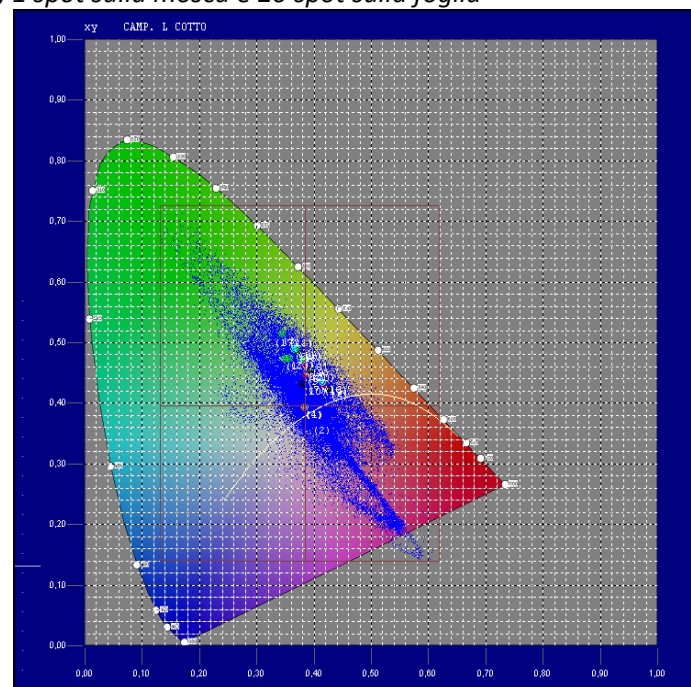
**Colore percepito:** grigio scuro



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

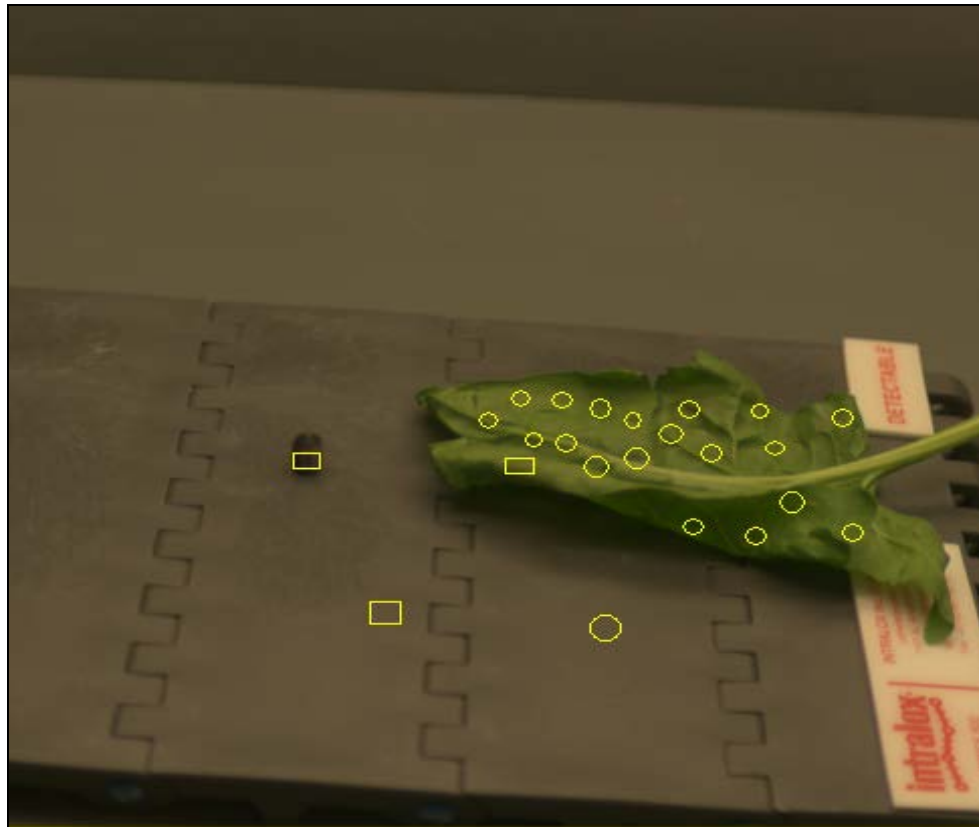
**NASTRO:** CAMPIONE L retro

**Tipologia:** modulare chiuso

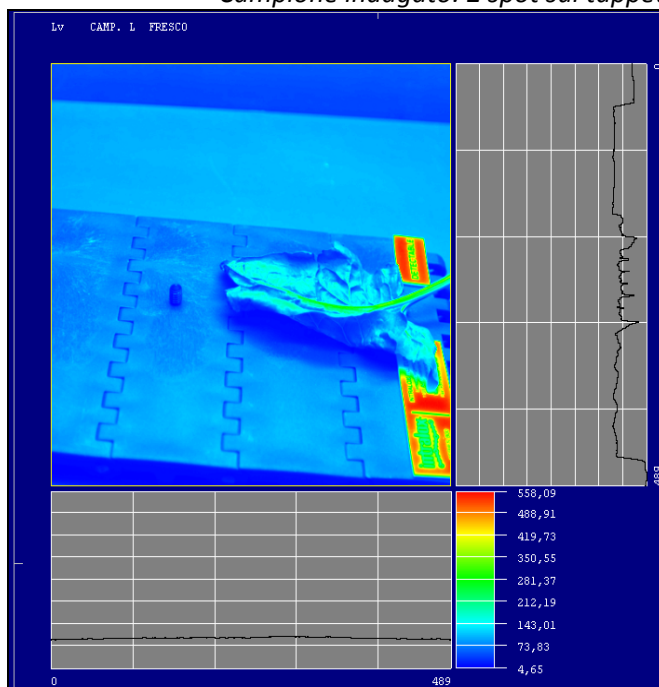
**Colore:** NCS S 6005-B20G

**Foglia spinacio:** fresca

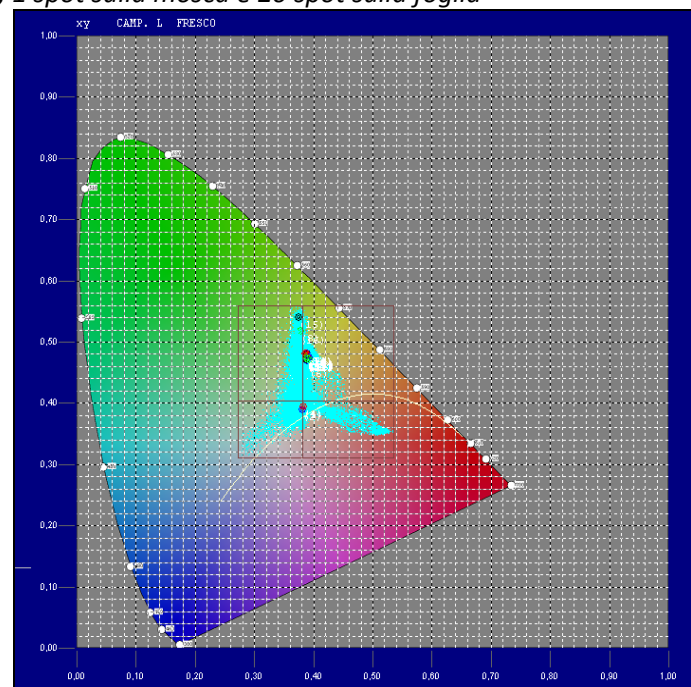
**Colore percepito:** grigio scuro



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

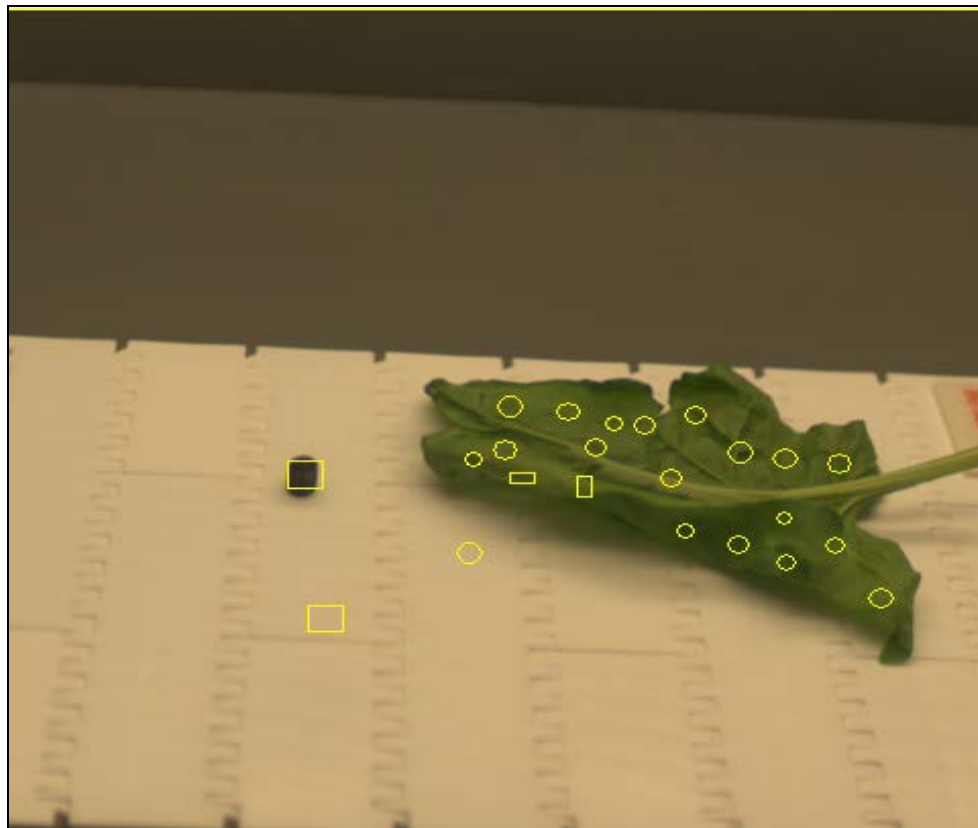
**NASTRO:** CAMPIONE M retro

**Tipologia:** modulare chiuso

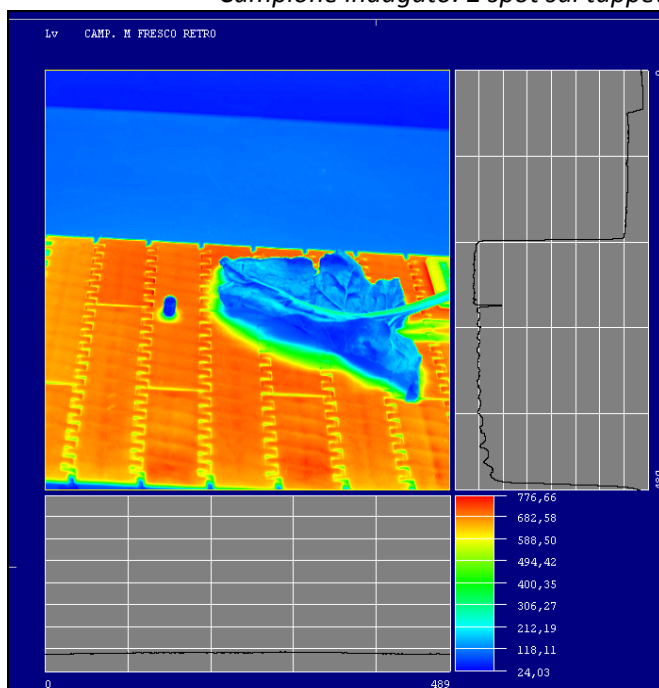
**Colore:** NCS S 0300-N

**Colore percepito:** bianco

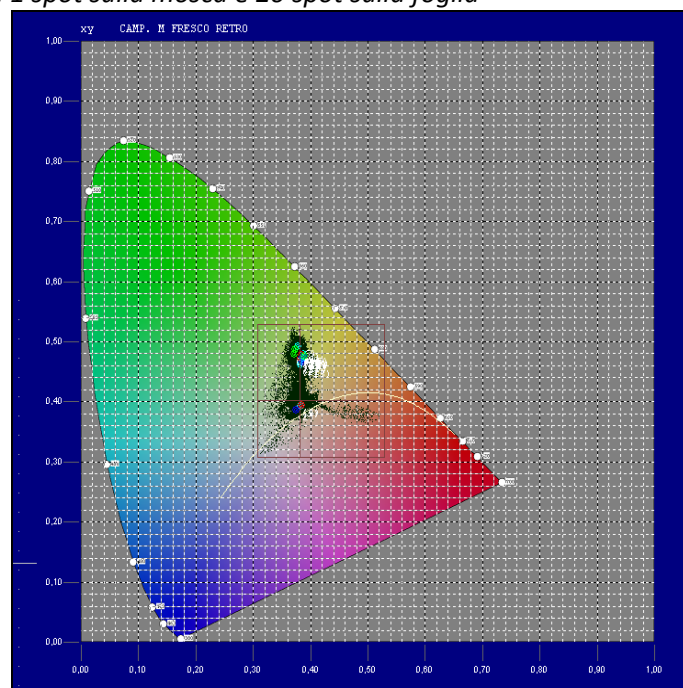
**Foglia spinacio:** fresca



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

**NASTRO:** CAMPIONE M fronte

**Tipologia:** modulare chiuso

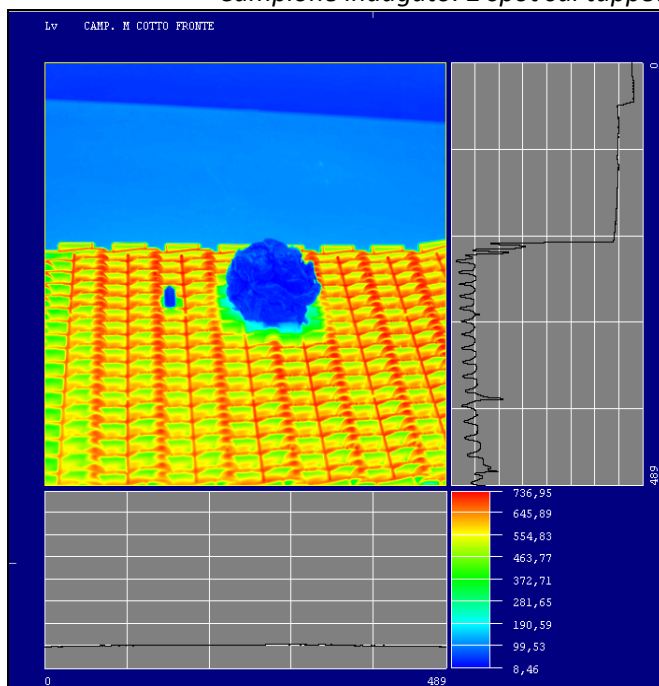
**Colore:** NCS S 0300-N

**Colore percepito:** bianco

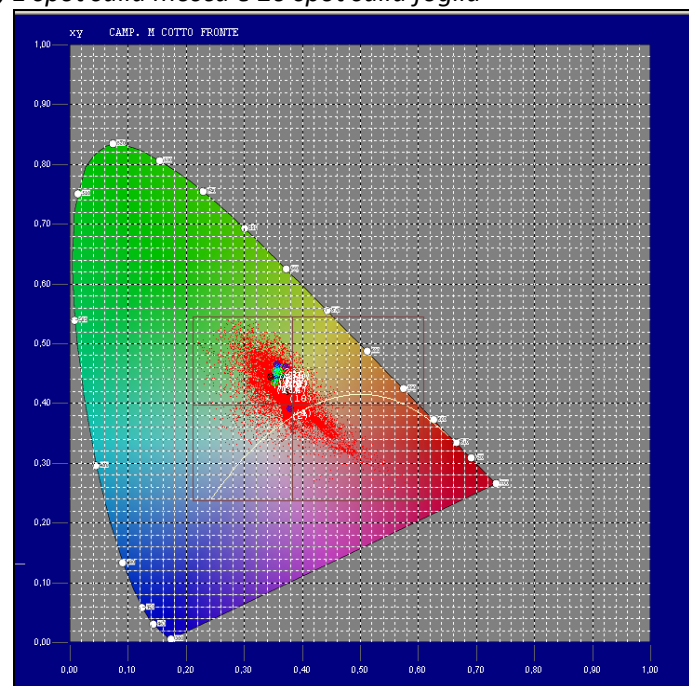
**Foglia spinacio:** cotta



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*



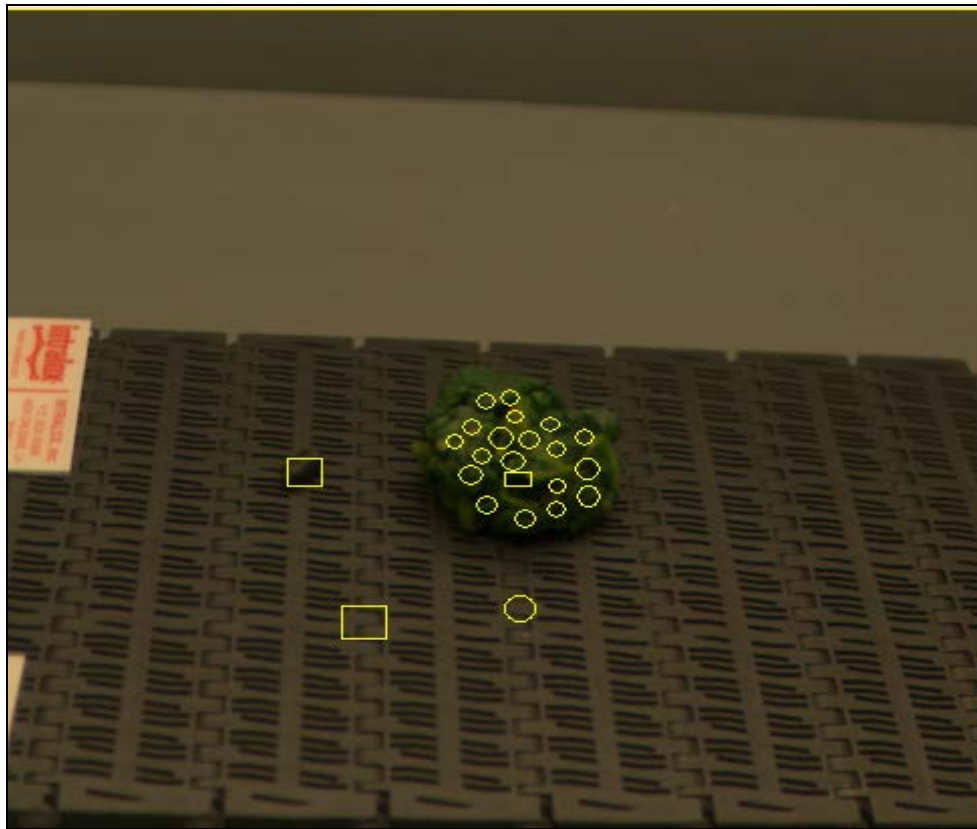
**NASTRO:** CAMPIONE N

**Tipologia:** modulare aperto

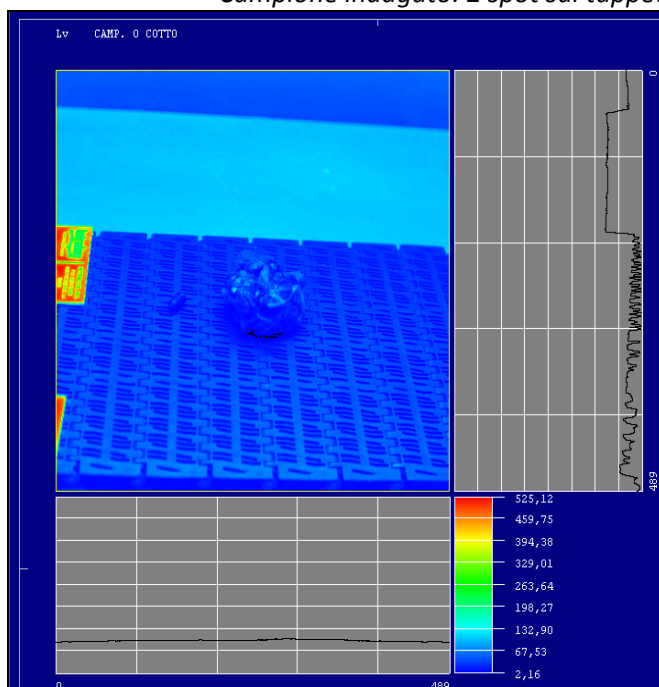
**Colore:** NCS S 7005 -B20G

**Foglia spinacio:** cotta

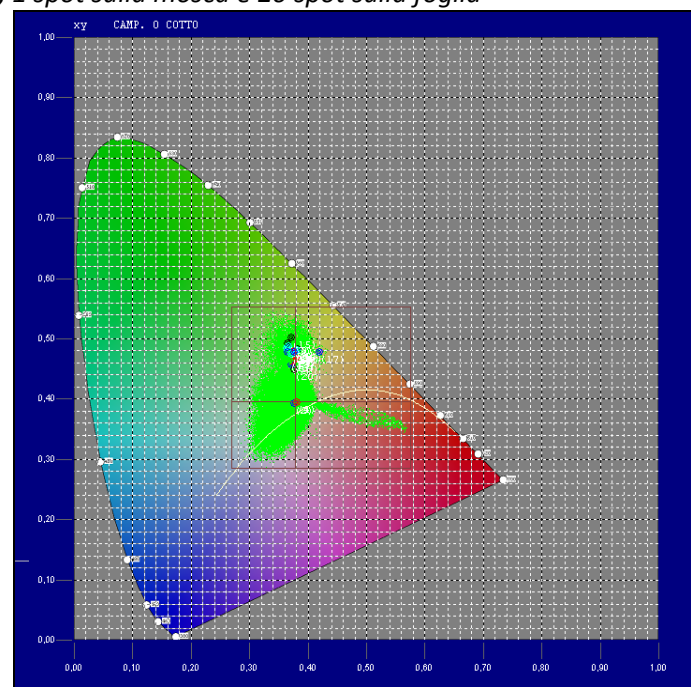
**Colore percepito:** nero



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

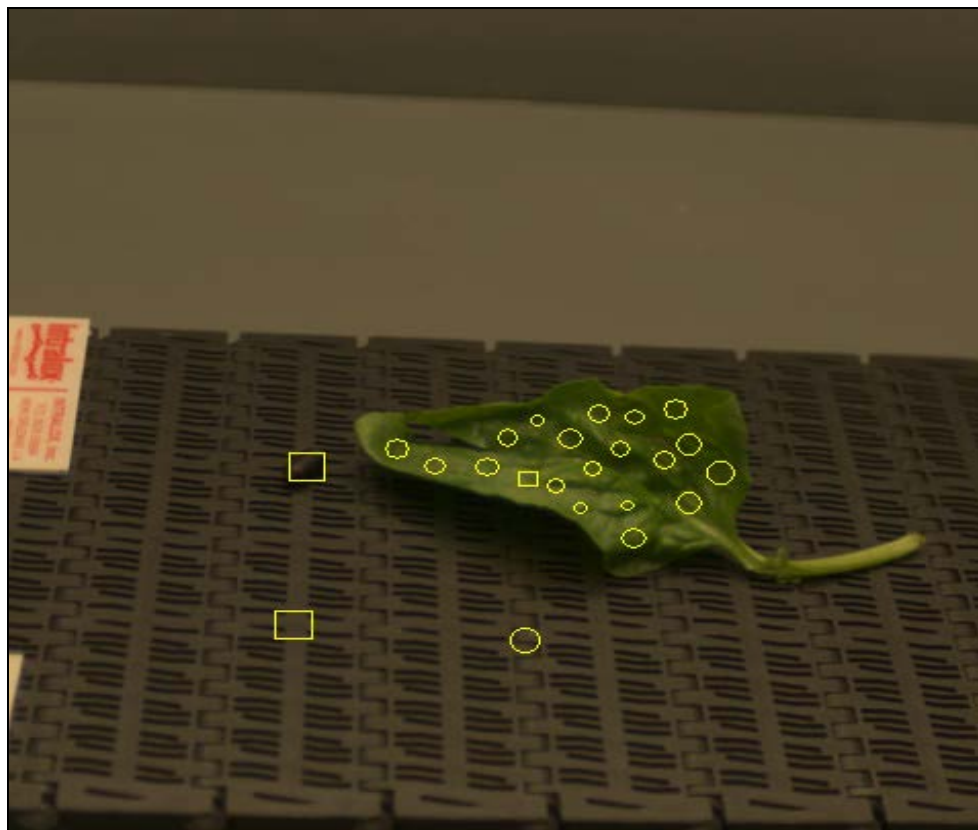
**NASTRO:** CAMPIONE N

**Tipologia:** modulare aperto

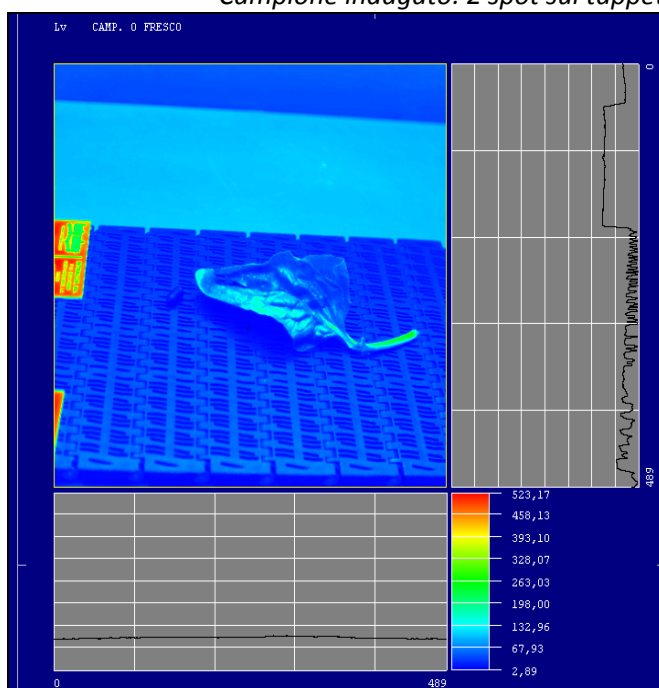
**Colore:** NCS S 7005 -B20G

**Colore percepito:** nero

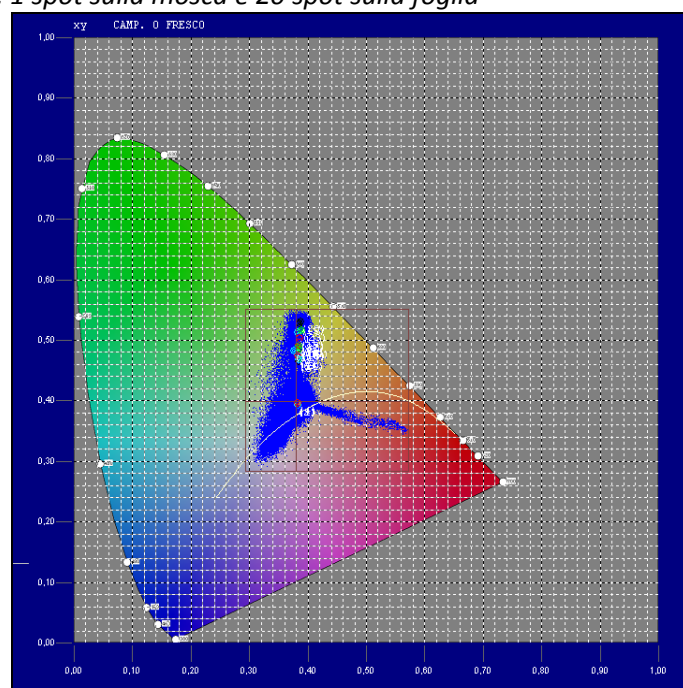
**Foglia spinacio:** fresca



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

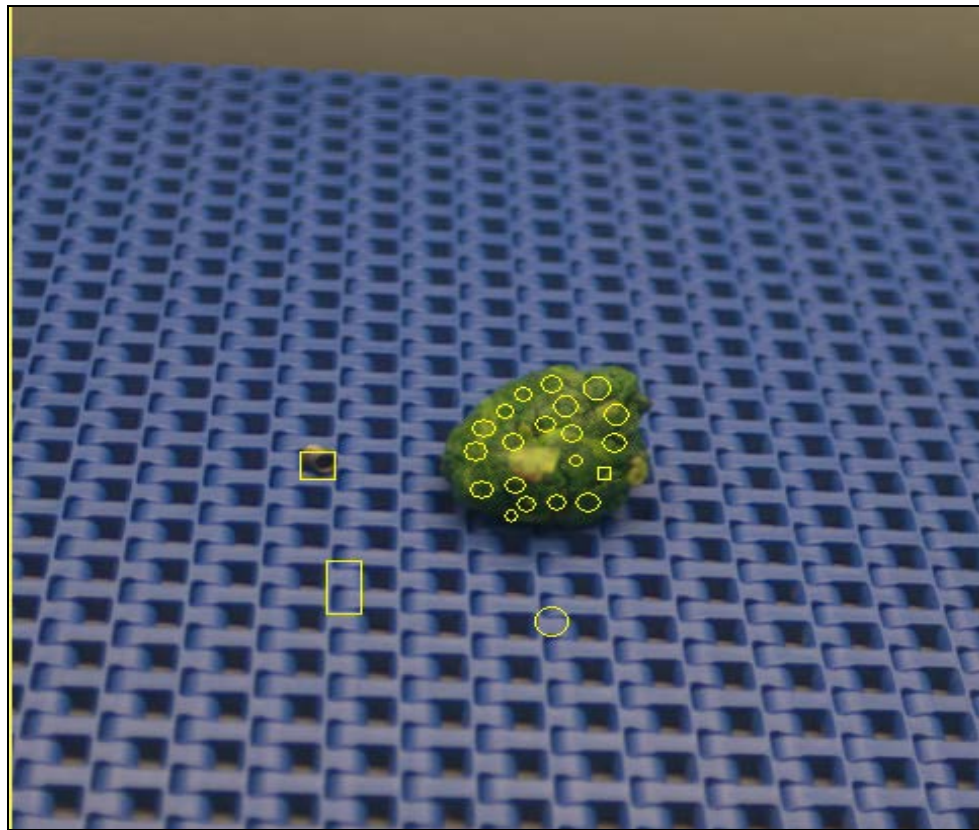
**NASTRO:** CAMPIONE O

**Tipologia:** modulare aperto

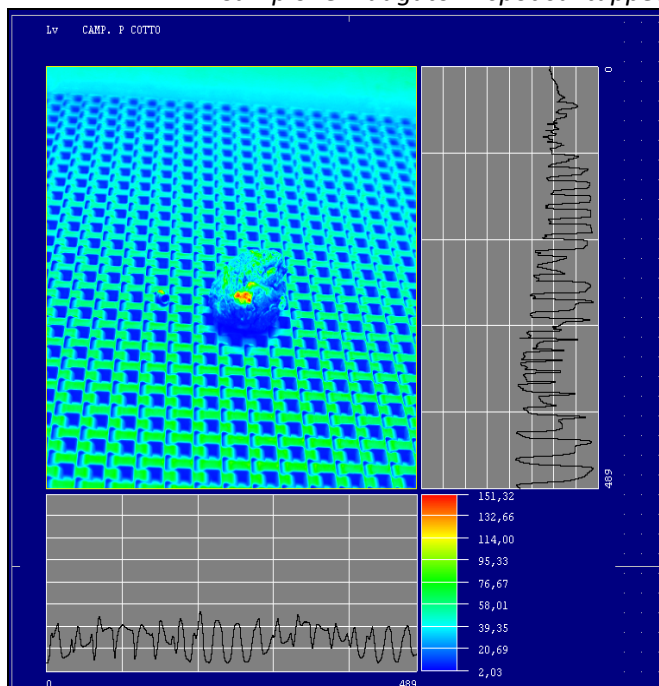
**Colore:** NCS S 3050-R80B-

**Colore percepito:** blu saturo

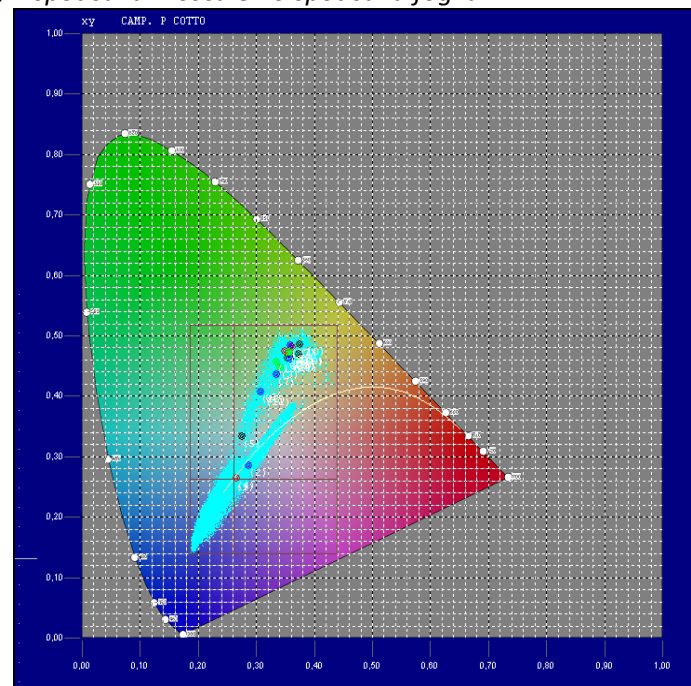
**Foglia spinacio:** cotta



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*



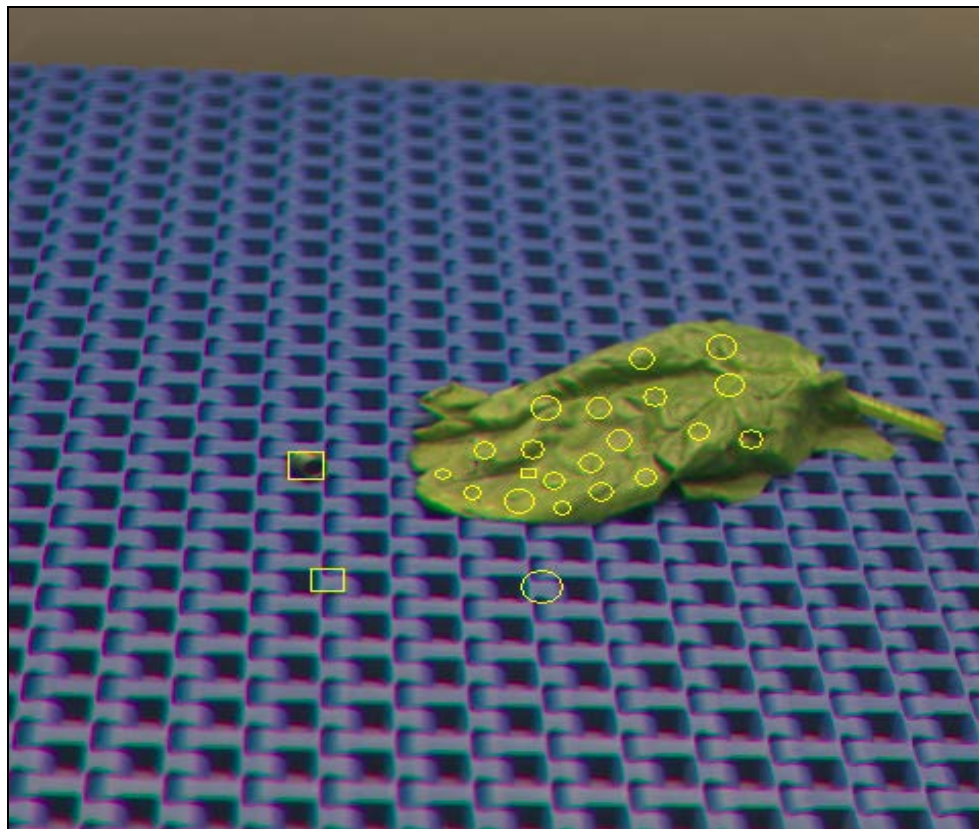
**NASTRO:** CAMPIONE O

**Tipologia:** modulare aperto

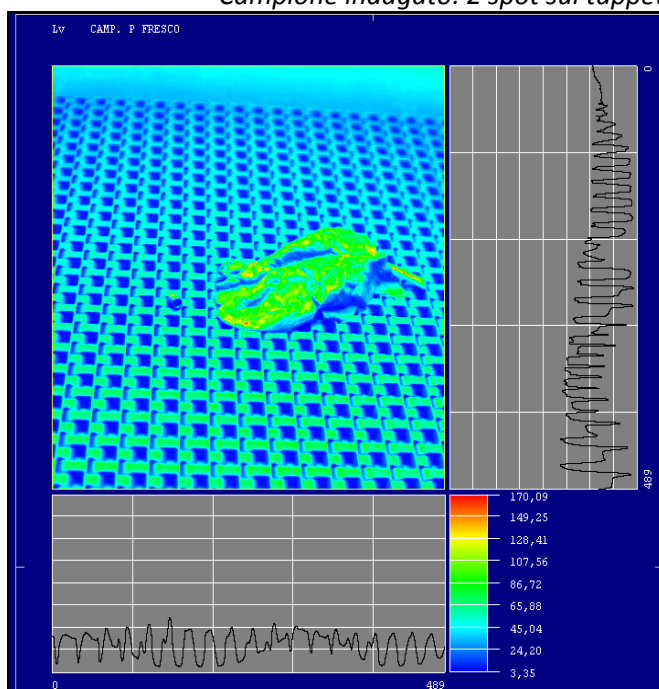
**Colore:** NCS S 3050-R80B-

**Colore percepito:** blu saturo

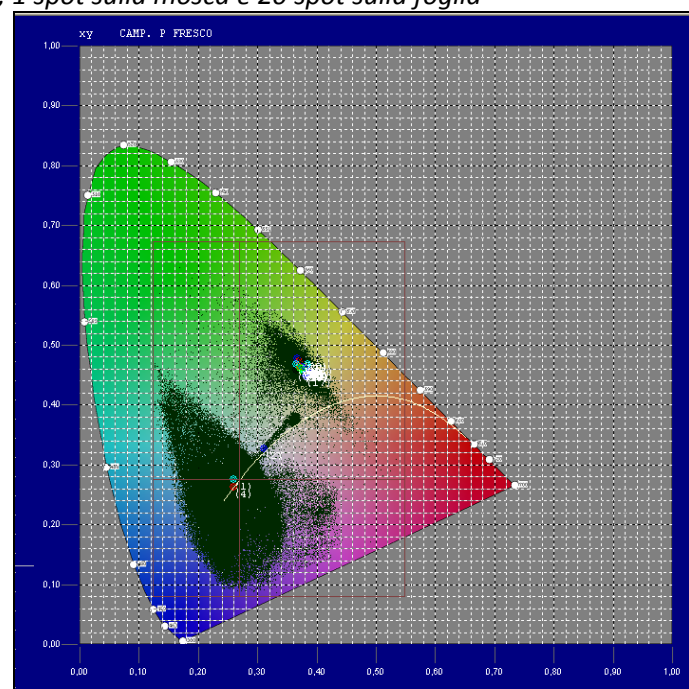
**Foglia spinacio:** fresca



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

**NASTRO: CAMPIONE 1**

**Tipologia: CDM**

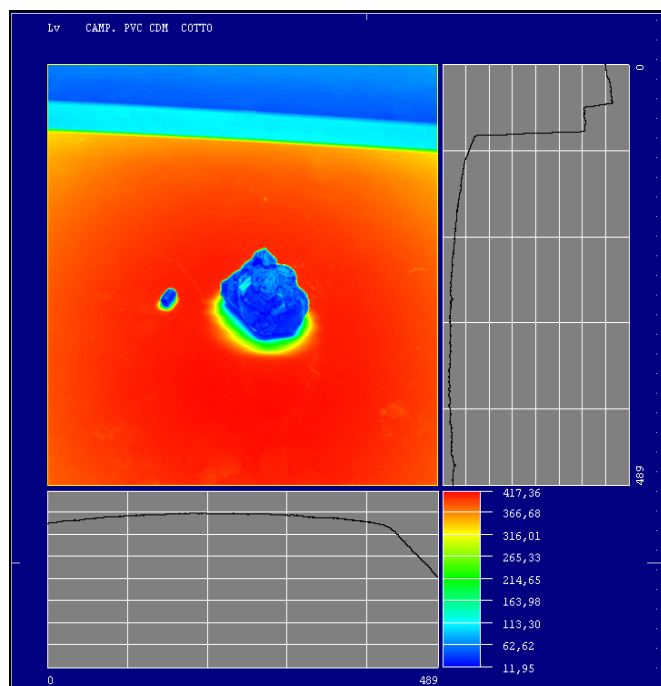
**Colore: NCS S 2005-R80B**

**Foglia spinacio: cotta**

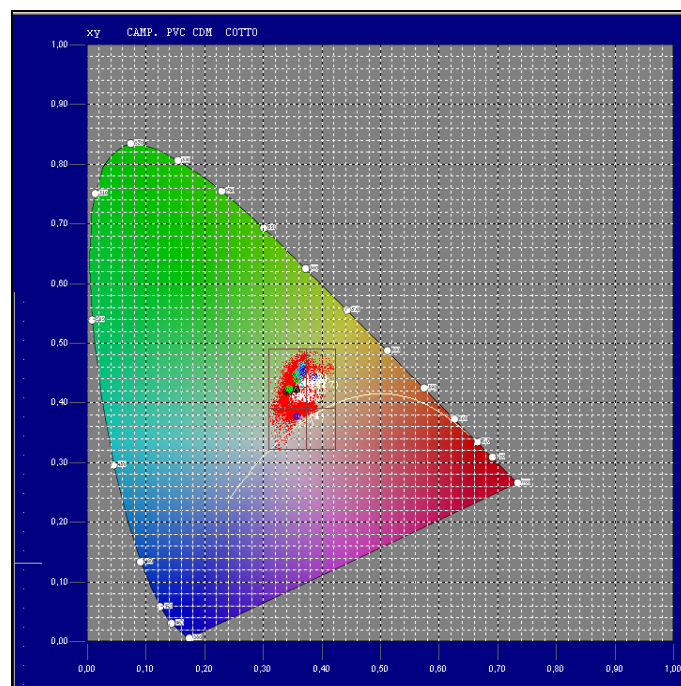
**Colore percepito: grigio chiaro**



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

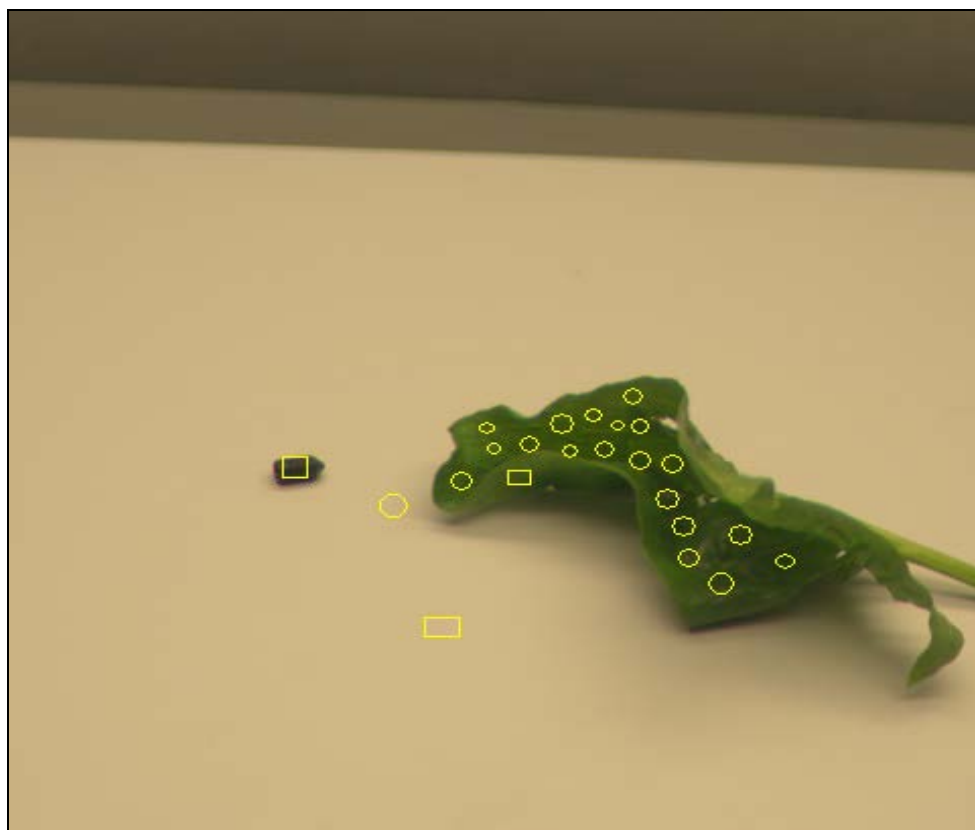
**NASTRO:** CAMPIONE 1

**Tipologia:** CDM

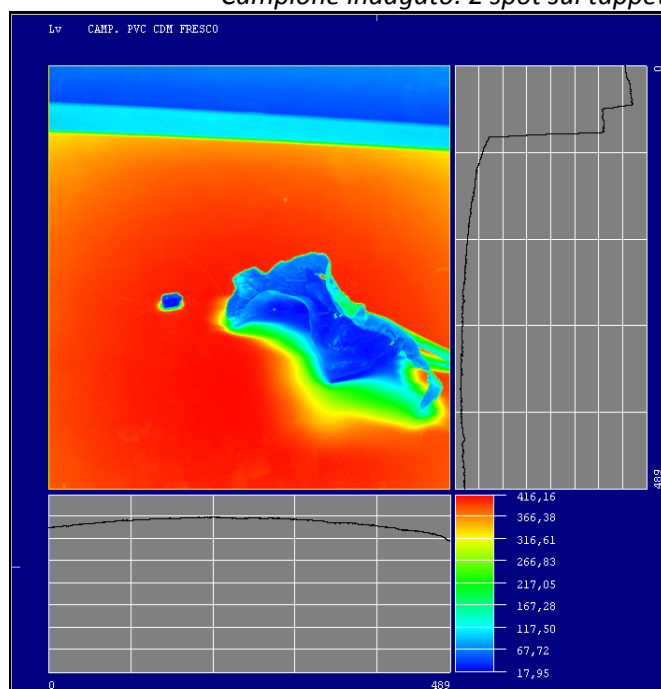
**Colore:** NCS S 2005-R80B

**Colore percepito:** grigio chiaro

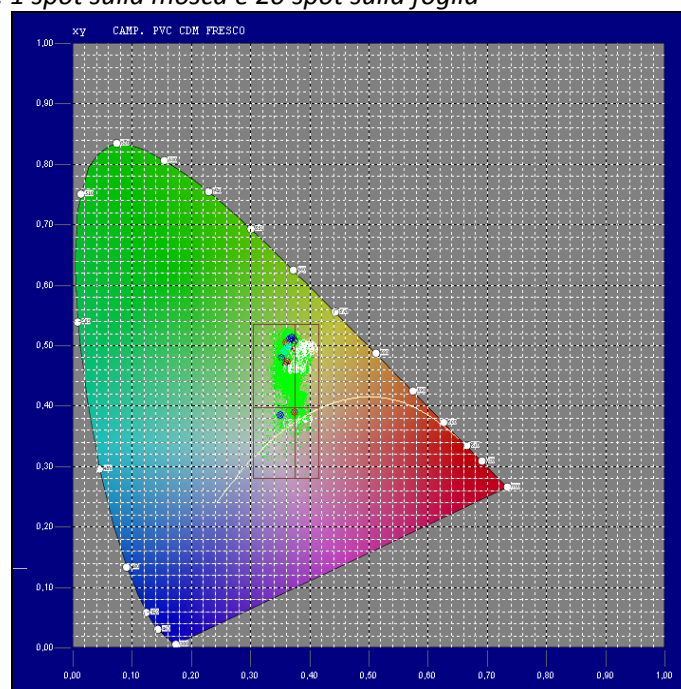
**Foglia spinacio:** fresca



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



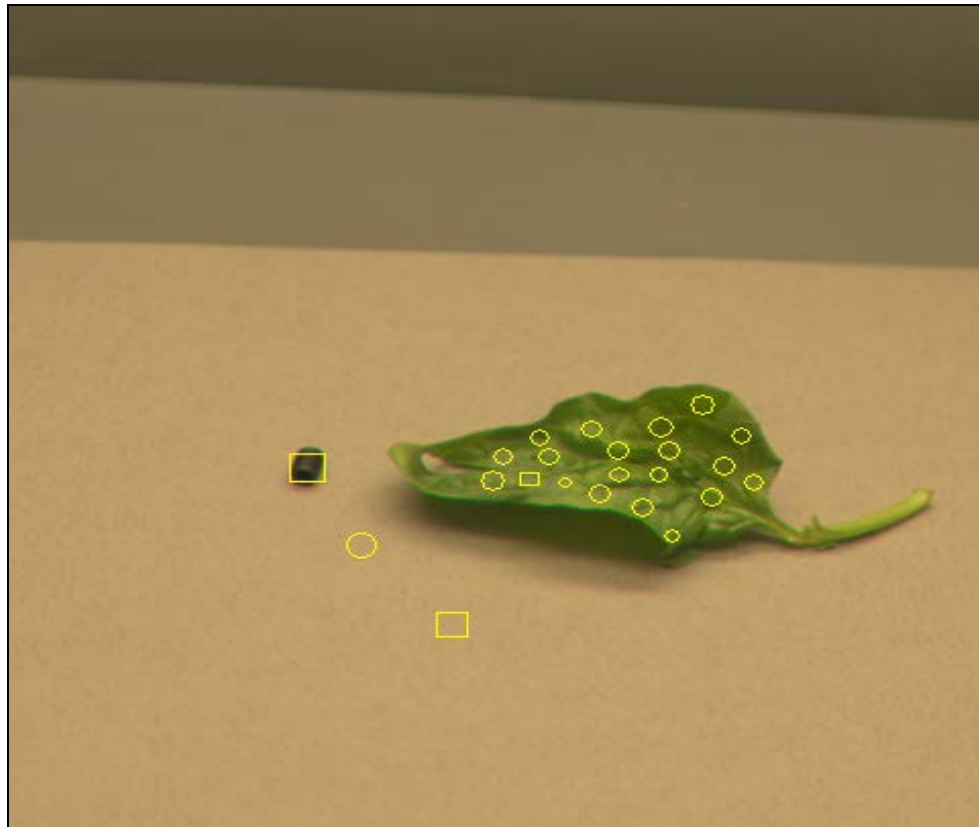
*La luminanza  $L_v$*



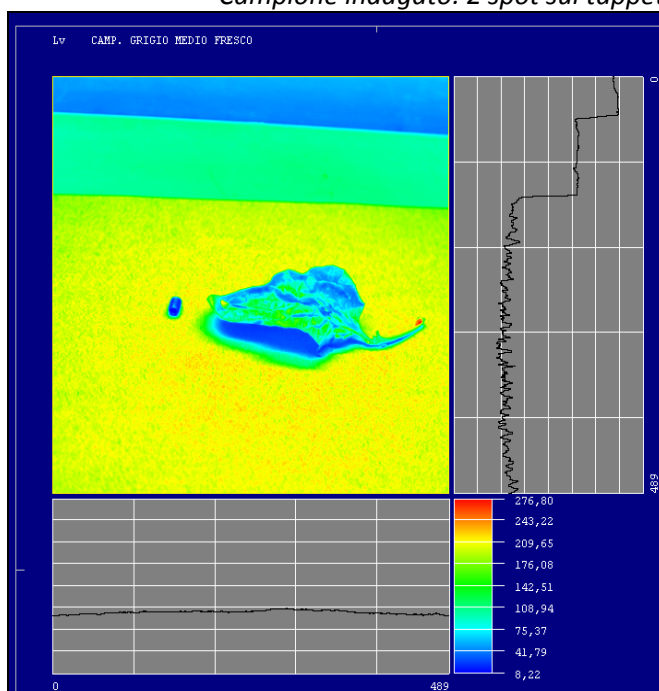
*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

**NASTRO: CAMPIONE 2**  
**Tipologia:** cartoncino  
**Colore:** NCS S 3502-Y  
**Foglia spinacio:** fresca

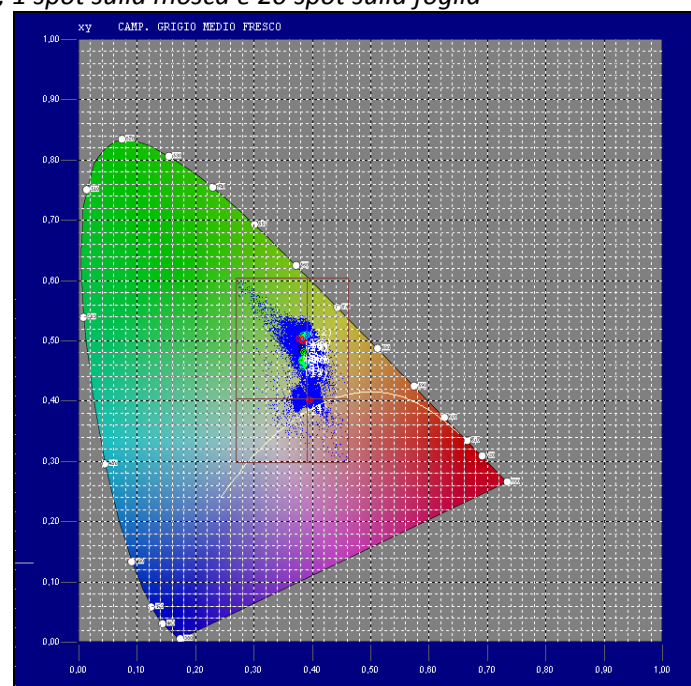
**Colore percepito:** grigio chiaro caldo



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*



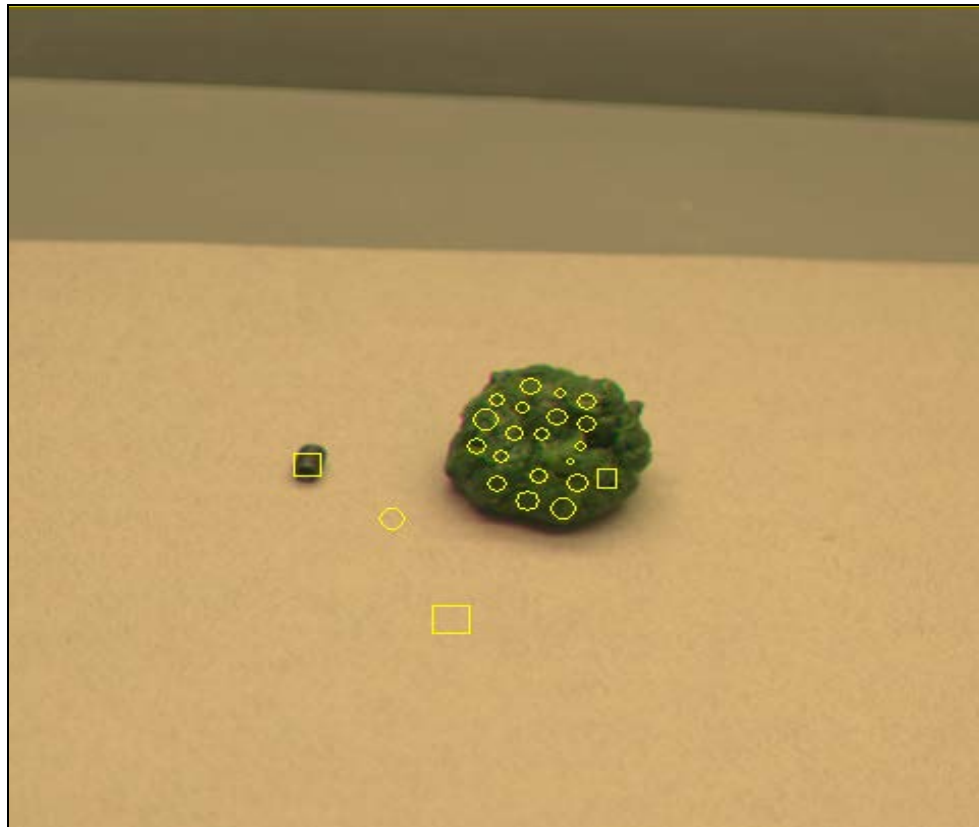
**NASTRO: CAMPIONE 2**

**Tipologia:** cartoncino

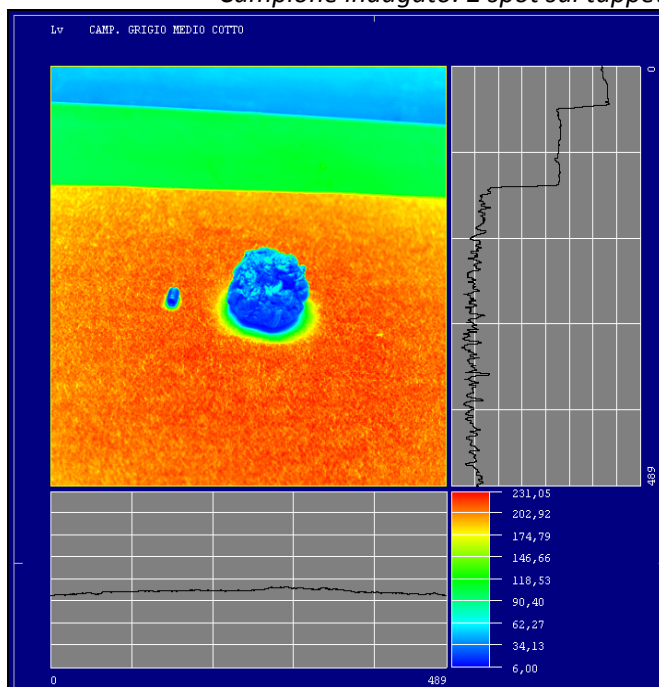
**Colore:** NCS S 3502-Y

**Foglia spinacio:** cotta

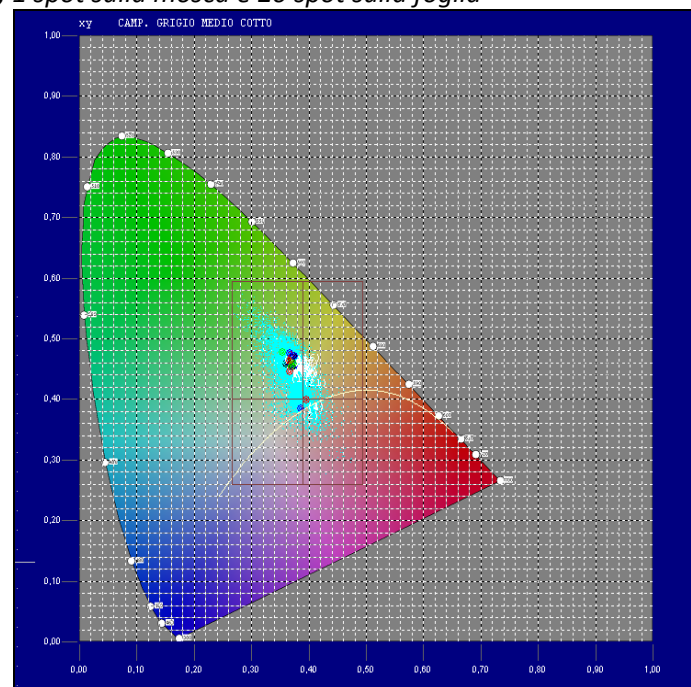
**Colore percepito:** grigio chiaro caldo



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*

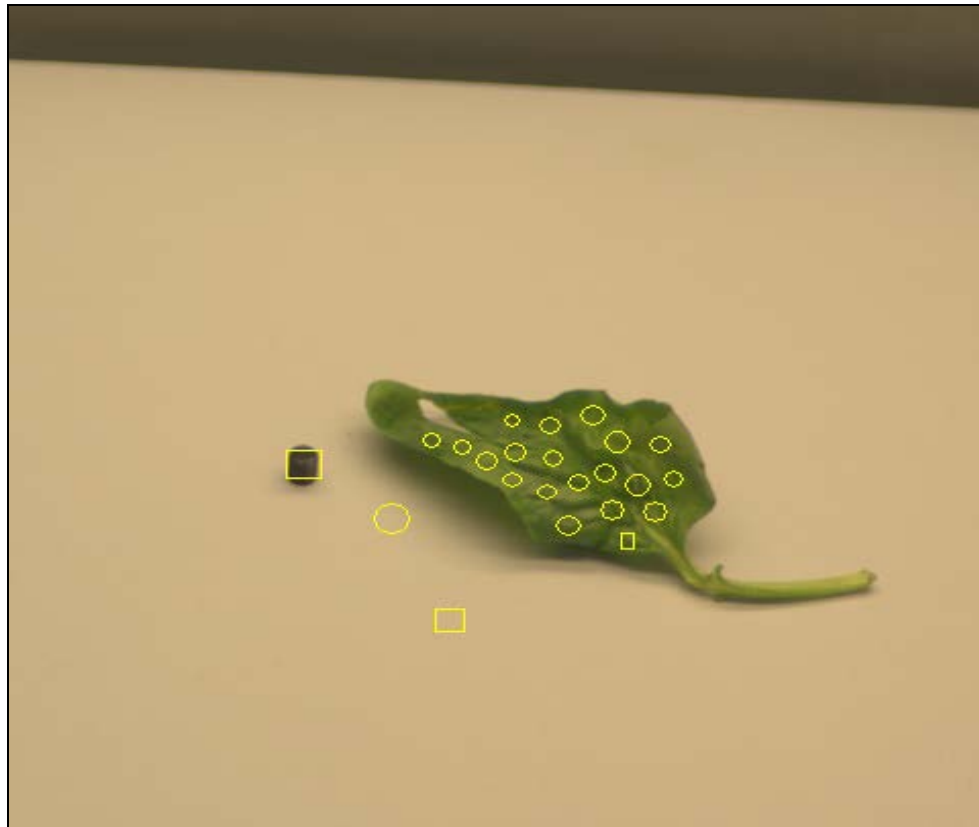


*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

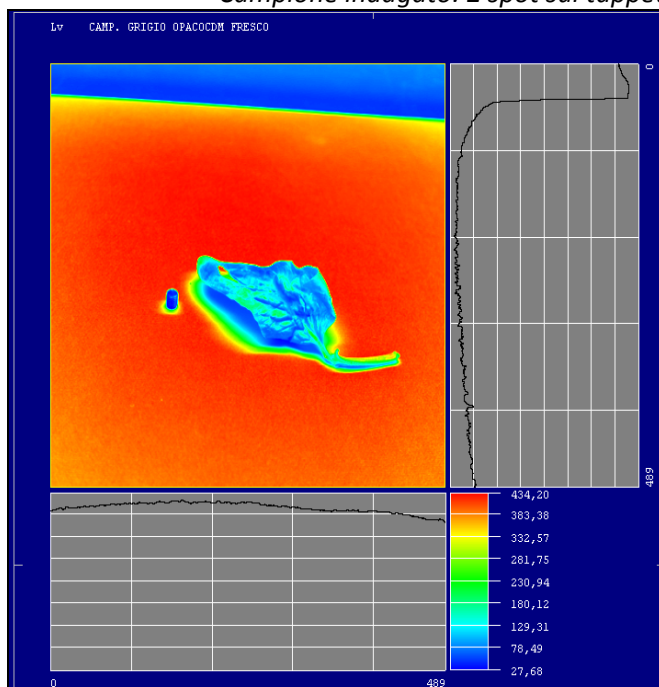
**NASTRO:** CAMPIONE 5  
**Tipologia:** cartoncino  
**Colore:** NCS S 2005- R80B  
**Foglia spinacio:** fresca

*eliminato perché dello stesso colore del campione 1*

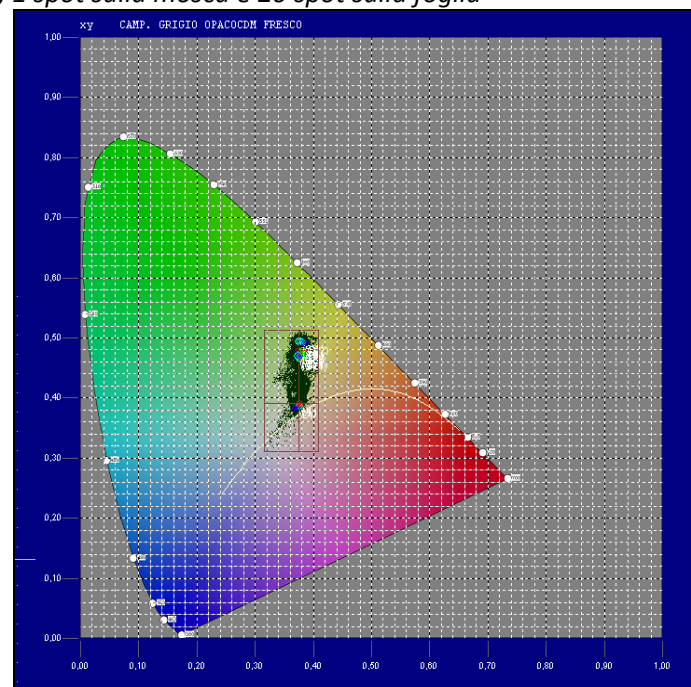
**Colore percepito:** grigio chiaro



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*L'andamento della luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

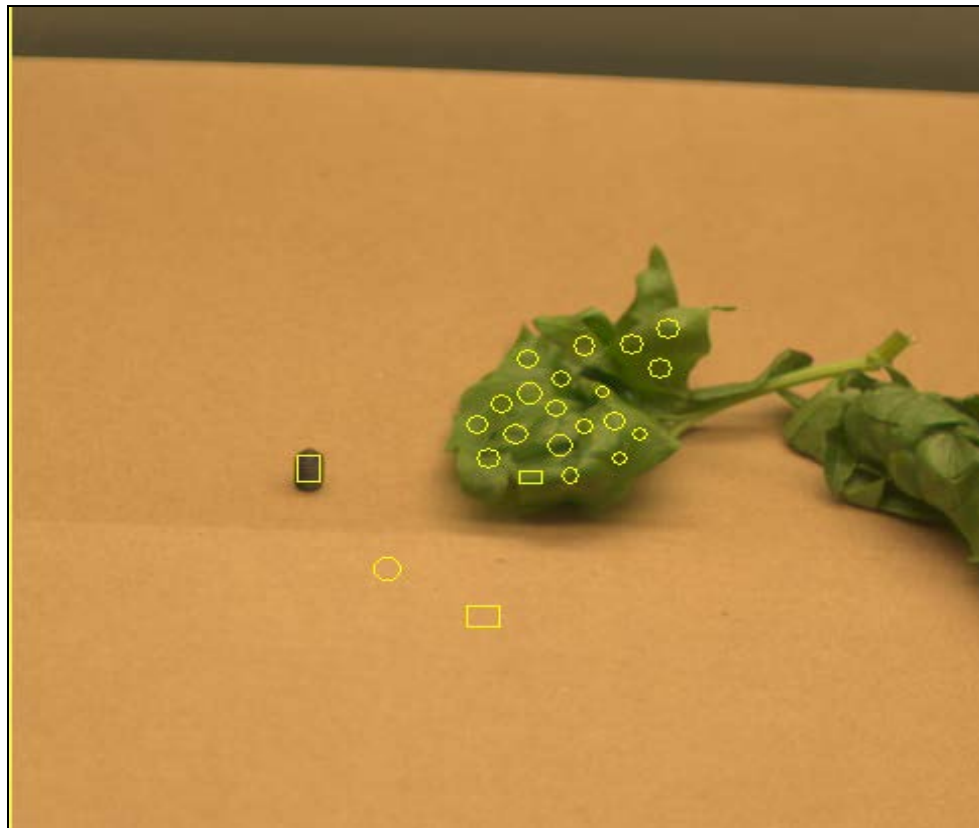
**NASTRO:** CAMPIONE 6

**Tipologia:** cartoncino

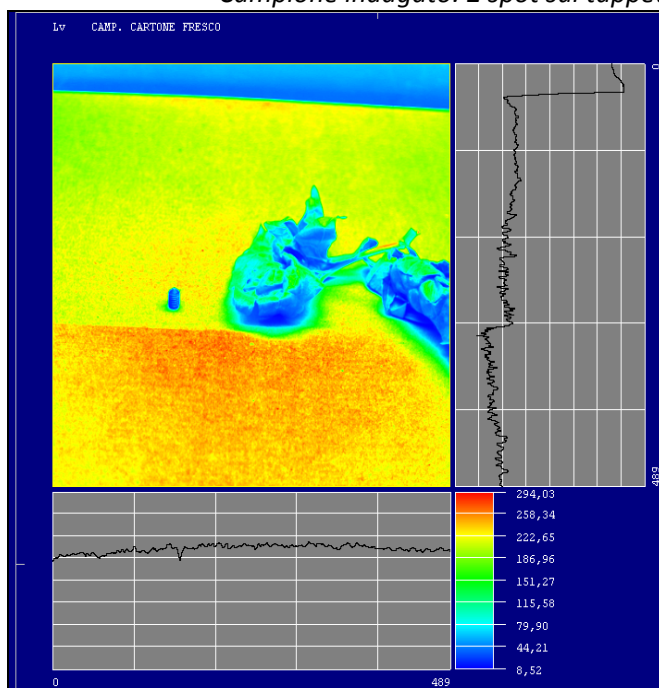
**Colore:** NCS S 3010-Y40R

**Foglia spinacio:** fresca

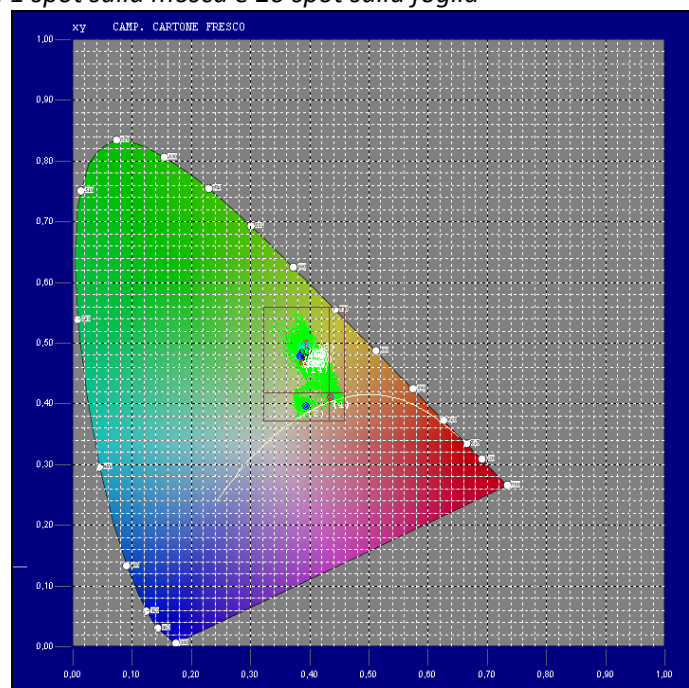
**Colore percepito:** grigio caldo



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*L'andamento della luminanza  $L_v$*

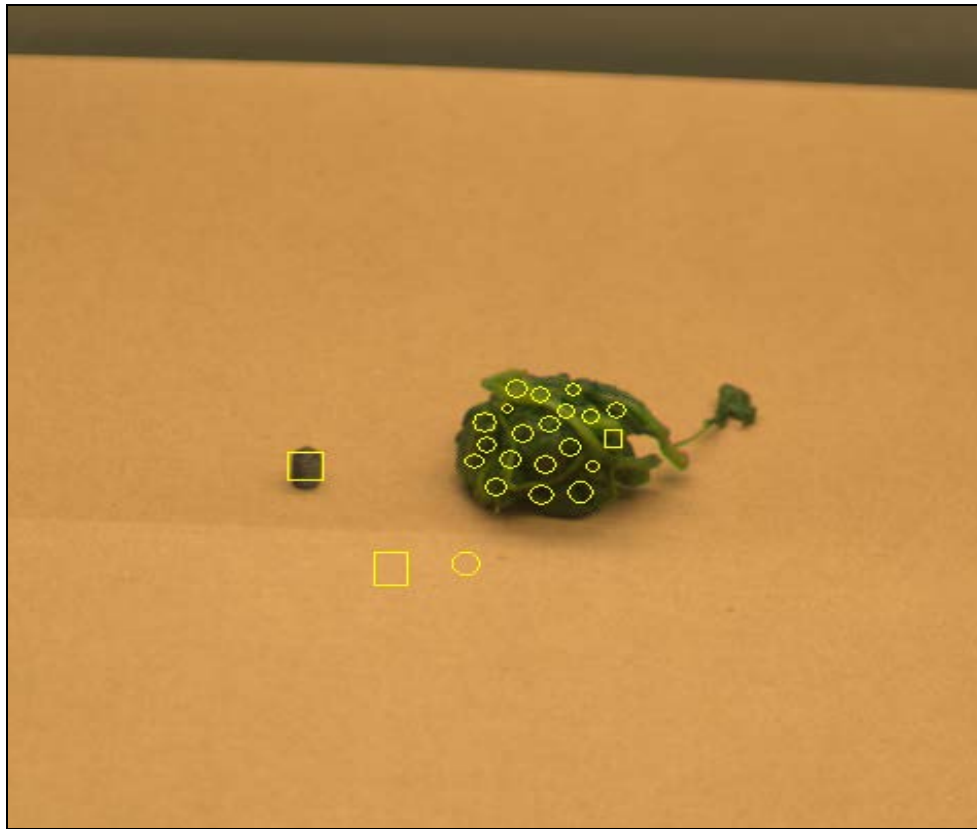


*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

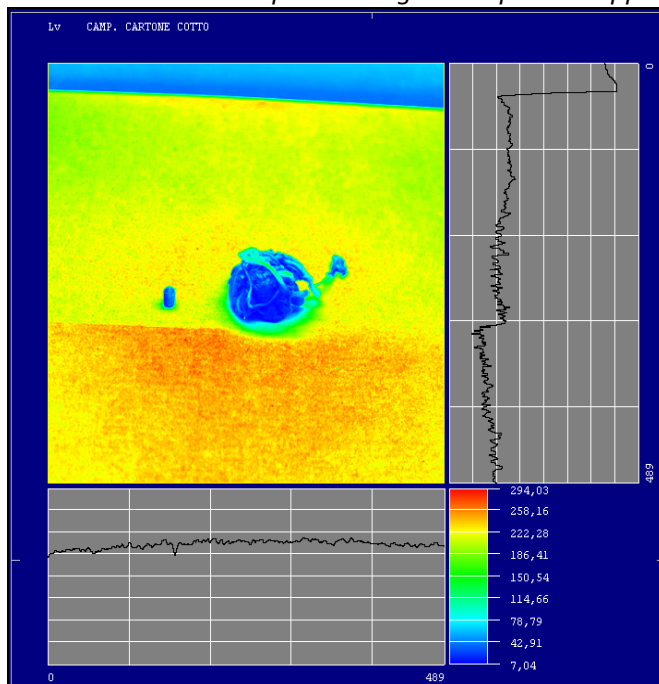


**NASTRO:** CAMPIONE 6  
**Tipologia:** cartoncino  
**Colore:** NCS S 3010-Y40R  
**Foglia spinacio:** cotta

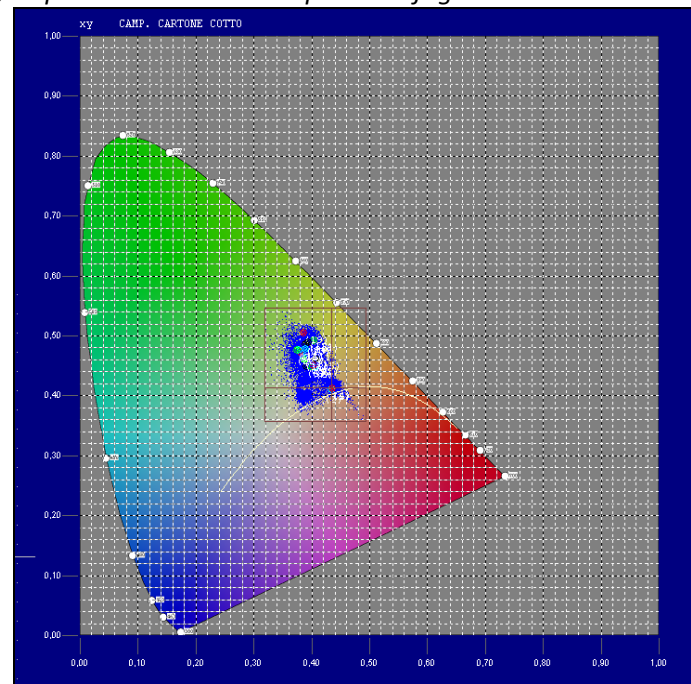
**Colore percepito:** grigio caldo



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*

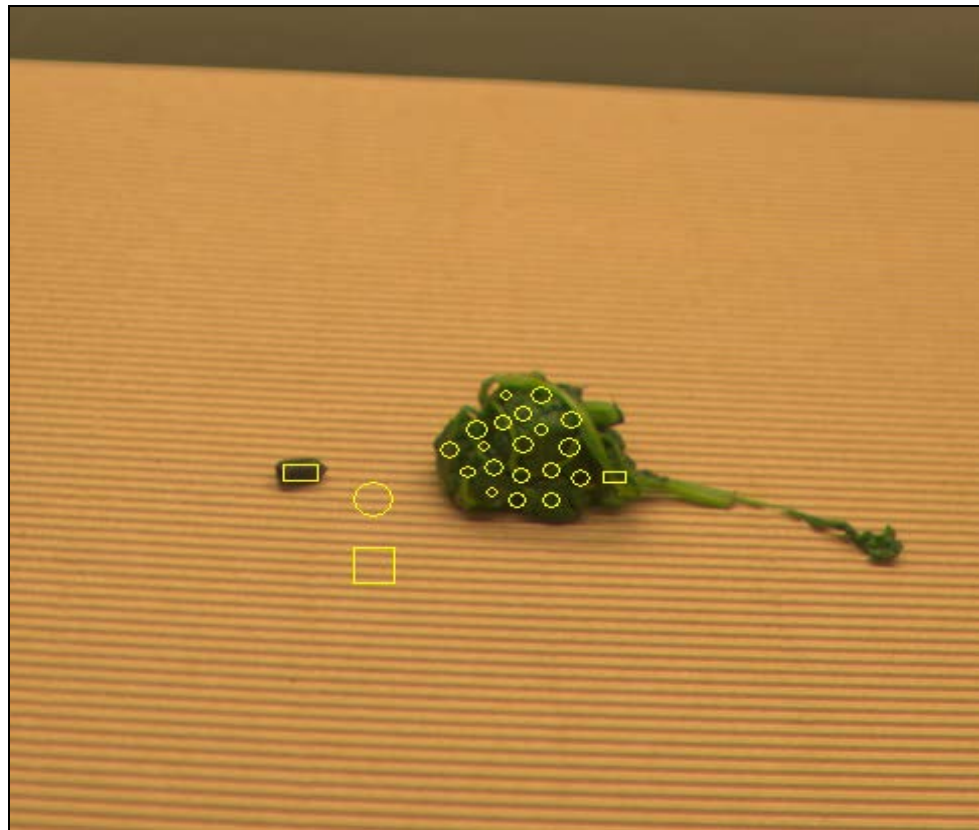


*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

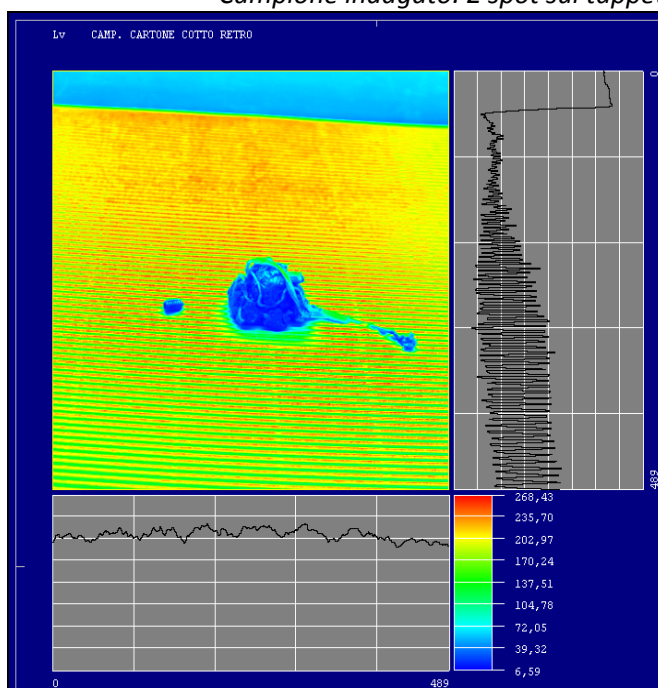
**NASTRO:** CAMPIONE 8  
**Tipologia:** cartoncino modulare  
**Colore:** NCS S 3010-Y40R  
**Foglia spinacio:** cotta

*eliminato perché stesso colore del campione 6*

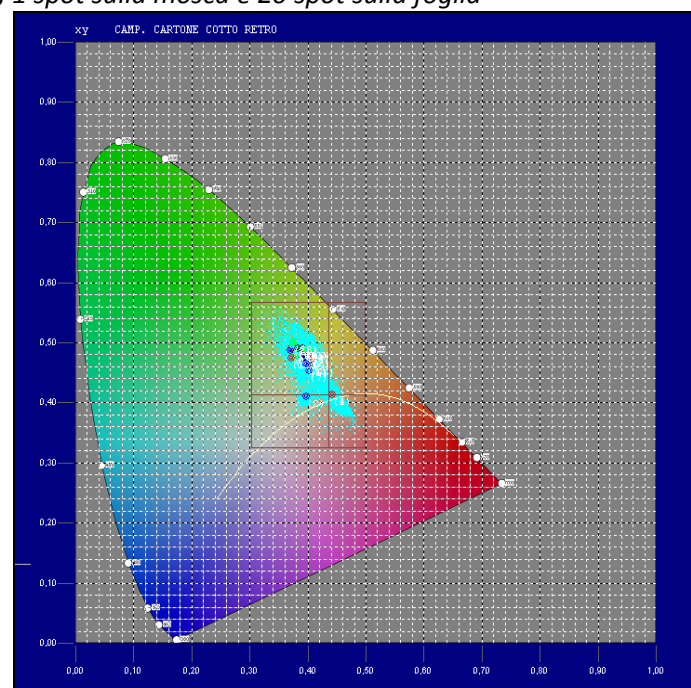
**Colore percepito:** grigio caldo



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*

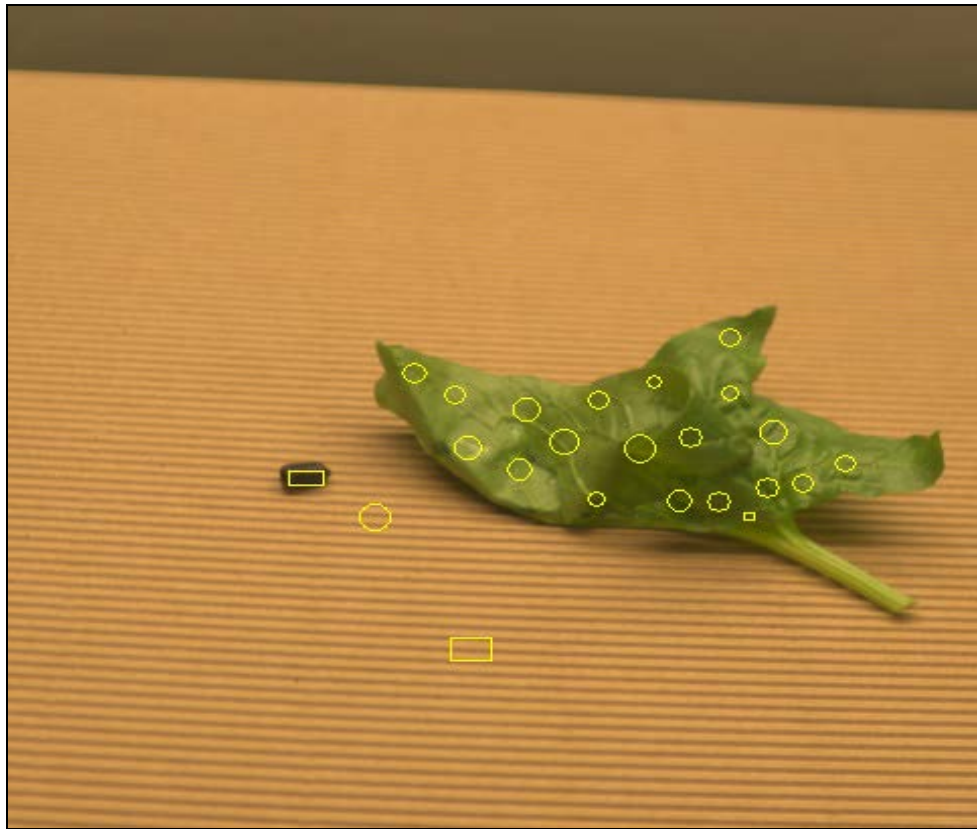


*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

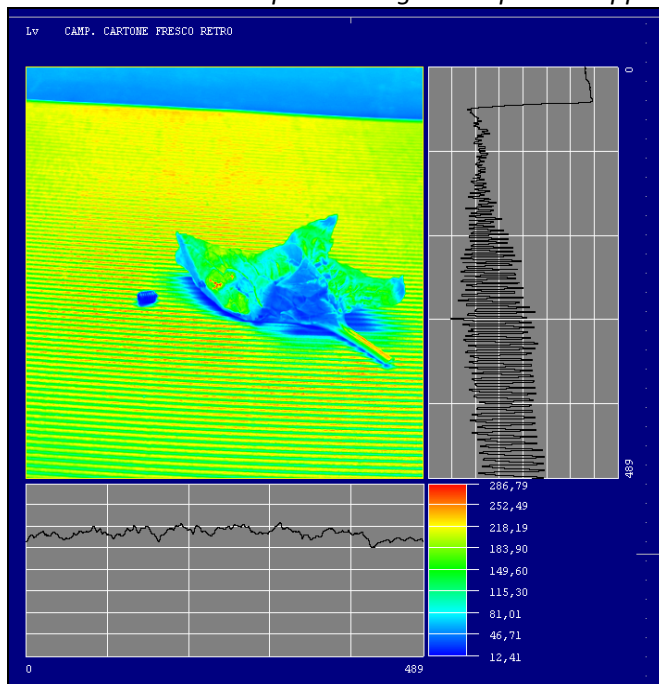
**NASTRO:** CAMPIONE 8  
**Tipologia:** cartoncino modulare  
**Colore:** NCS S 3010-Y40R  
**Foglia spinacio:** fresca

*eliminato perché stesso colore del campione 6*

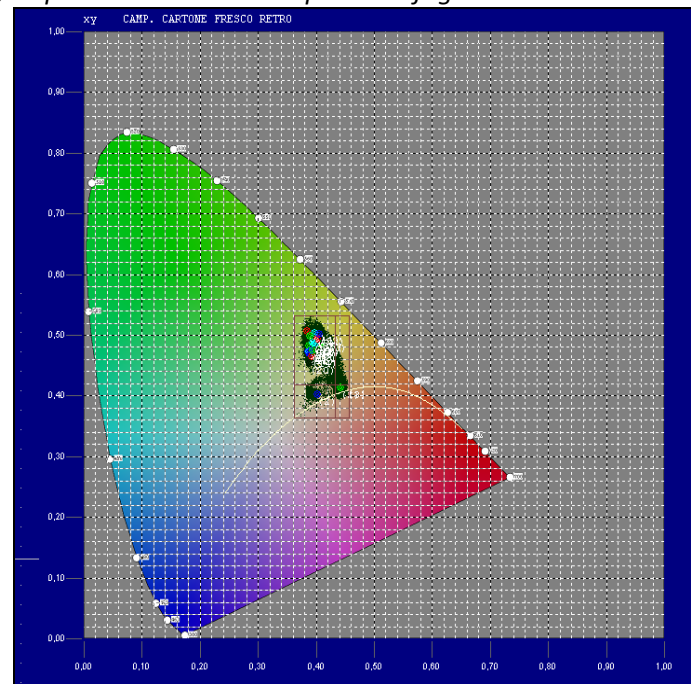
**Colore percepito:** grigio caldo



*Campione indagato: 2 spot sul tappeto, 1 spot sulla mosca e 20 spot sulla foglia*



*La luminanza  $L_v$*



*I 23 punti indagati nel Diagramma CIE, 1931*

## **Allegato 7 – Capitolo 1. La luce**

*“Senza la luce gli occhi non possono vedere forma, colore, spazio, movimento, ma la luce è qualcosa di più della causa fisica di quanto vediamo: anche dal punto di vista psicologico resta per l'uomo una delle esperienze fondamentali e più potenti...”*

R. Arnheim, *Arte e percezione visiva*, Ed. Feltrinelli, 1971

Lo studio del colore riguarda pertanto la luce, che presenta le seguenti caratteristiche

- si propaga in linea retta in un materiale omogeneo o nel vuoto
- il suo percorso viene deviato passando attraverso mezzi di differenti natura e proprietà
- viene riflessa dalle superfici che incontra
- può essere scomposta attraversando corpi di forma opportuna (prisma)

L'occhio umano non vede la luce, ma vede la luce riflessa dalla materia, e pertanto, in assenza di luce, non vede la materia. Sulla luna il cielo appare nero per assenza dell'atmosfera.

La luce è una forma di radiazione elettromagnetica, ovvero un campo elettromagnetico che si propaga nello spazio e nel tempo, nel vuoto e nella materia, con una velocità che dipende dal mezzo che attraversa.

La radiazione elettromagnetica mostra una natura corpuscolare e ondulatoria. Corpuscolare perché costituita da piccole particelle dette fotoni, di tipo ondulatorio è invece la sua propagazione nello spazio e nel tempo.

### **1.1. Le onde elettromagnetiche**

*James Clerk Maxwell* (1831-1879), fisico scozzese, ipotizzò per primo che la luce, proveniente dal sole, si propagasse attraverso onde elettromagnetiche; dedusse anche che la velocità della luce coincidesse con quella di propagazione delle onde elettromagnetiche.

Deducendo la teoria elettromagnetica della luce dalla sintesi dell'elettromagnetismo, l'ottica divenne un capitolo dell'elettromagnetismo (vedi equazioni di Maxwell).

Dopo circa 20 anni il tedesco *Heinrich Hertz* (1857-1894) fu il primo a produrre in laboratorio onde elettromagnetiche verificandone un comportamento simile a quello della luce, rafforzando quindi l'ipotesi di Maxwell.

*Guglielmo Marconi* (1874-1937) infine, rivoluzionò il mondo con la scoperta della radio: prima applicazione pratica di questa teoria, ovvero la trasmissione di segnali per mezzo di onde elettromagnetiche.

Per un'onda elettromagnetica vale la seguente relazione:

$$c = \lambda \cdot \nu$$

dove

$\lambda$  è la sua lunghezza d'onda

$\nu$  è la sua frequenza

$c$  è la sua velocità di propagazione

Una radiazione elettromagnetica può essere costituita da una singola lunghezza d'onda (monocromatica), ma più spesso è composta da radiazioni di diverse lunghezze d'onda, dove per lunghezza d'onda si intende la distanza che intercorre tra il punto massimo di una curva (cresta) e quello massimo successivo (figura 1.1.). Le lunghezze d'onda per le radiazioni elettromagnetiche variano da parecchi chilometri ad un decimilionesimo di millimetro (Ångstrom).

Le onde elettromagnetiche sono vibrazioni irradiate da una sorgente e si propagano tutte alla medesima velocità, che è massima nel vuoto, di circa 300.000 km/s (più precisamente  $c = 2,997925 \times 10^8$  m/s ed in linea retta verso l'esterno. La propagazione di queste radiazioni nello spazio avviene con moto ondulatorio di diversa frequenza, determinata questa dal numero di forme d'onda ripetitive al secondo. Quindi come risulta dalla formula precedente, la frequenza è uguale alla velocità di propagazione divisa per la lunghezza d'onda e viene espressa in Hertz.

Mentre la velocità di propagazione resta identica, la velocità di vibrazione, o frequenza, varia in relazione alla lunghezza d'onda, essendo queste due grandezze inversamente proporzionali: ad una minore lunghezza d'onda corrisponde una maggiore frequenza e viceversa. Inoltre, la frequenza è proporzionale al contenuto di energia: una radiazione ad alta frequenza vibra maggiormente di una a bassa frequenza, risultando quindi più ricca di energia.

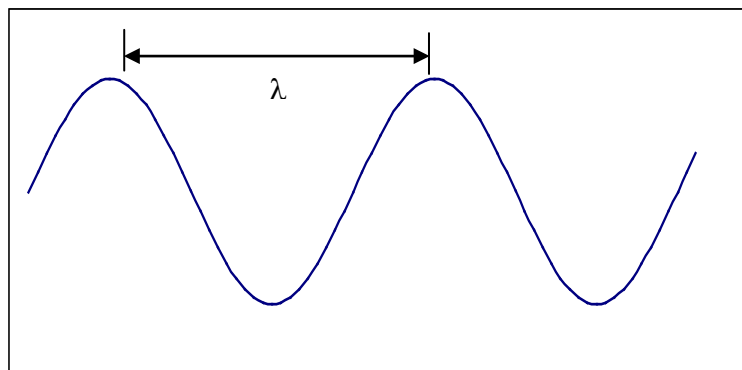


Fig.1.1. La lunghezza d'onda

Le principali onde elettromagnetiche e le loro caratteristiche:

- corrente elettrica: a bassissima frequenza, si misurano in Hertz; invisibili
- onde radio: usate per le trasmissioni radio-televisive, a bassa frequenza, si misurano in Hertz; invisibili
- raggi infrarossi: radiazioni con una lunghezza d'onda maggiore di quella dell'estremo rosso dello spettro visibile. Hanno proprietà termiche; invisibili
- raggi visibili: l'insieme delle radiazioni elettromagnetiche percepibili da un occhio umano
- raggi ultravioletti: hanno proprietà sterilizzante; invisibili
- raggi X: radiazioni capaci di attraversare i corpi opachi; invisibili
- raggi gamma: radiazioni emesse dai corpi radioattivi. Sono della stessa natura dei raggi X o della luce, ma hanno una lunghezza d'onda minima; invisibili



Il nostro occhio percepisce una fascia molto ridotta del totale delle radiazioni: questa viene chiamata luce.

La luce, attraverso il fenomeno della “ percezione visiva”, consente la visione dell’ambiente che ci circonda, permette di misurare lo spazio, stabilire forma e colore degli oggetti circostanti e la qualità della materia.

I mutamenti della luce nel corso della giornata permettono di intuire il trascorrere del tempo.

Gli occhi sono di gran lunga lo strumento più importante a disposizione dell’uomo per appropriarsi delle relazioni tra spazio e tempo.

Sorgente primaria della luce per l’uomo resta il sole, non a caso assunto a divinità per i popoli antichi. La visione, cioè la facoltà da parte dell’occhio umano di vedere gli oggetti, è dovuta alla sua capacità di rispondere allo stimolo di una porzione molto limitata dello spettro elettromagnetico, lo spazio in cui si raggruppano tutte le radiazioni che ci raggiungono dallo spazio, dalle onde radio ai raggi cosmici.

E’ definita come *spettro visibile* quella porzione che comprende solo le onde che l’occhio umano è in grado di percepire, non semplice da definire all’interno delle due regioni che le fanno da confine.

Lo spettro visibile può anche essere rappresentato da un grafico lineare in cui alla radiazione di minor lunghezza d’onda, corrisponde il violetto mentre alla radiazione a maggior lunghezza, corrisponde il rosso. Di questa banda spettrale, l’occhio umano percepisce meglio la parte centrale cioè quella dei gialli e dei verdi, mentre la percezione sfuma verso i bordi violetti e rossi. Questa caratteristica fa sì che la percezione individuale dei colori non sia definibile quantitativamente in modo esatto, dato che il limite tra raggi violetti ed ultravioletti e tra radiazioni del rosso e infrarossi non è marcato e che la sensibilità alla visione si differenzia fortemente da un individuo all’altro.

Con l’avanzare dell’età inoltre l’occhio, forse per l’ingiallimento senile della cornea, diventa meno sensibile a percepire alcuni colori come il viola. I limiti dello spettro visibile pertanto, fissati inizialmente a lunghezze d’onda da 380 nm nella regione dell’ultravioletto, sino a 760 nm dell’infrarosso, subirono variazioni nel corso del tempo a seguito di ulteriori ricerche, che spostarono il limite dello spettro visibile tra 376 e 788 nm rispettivamente.

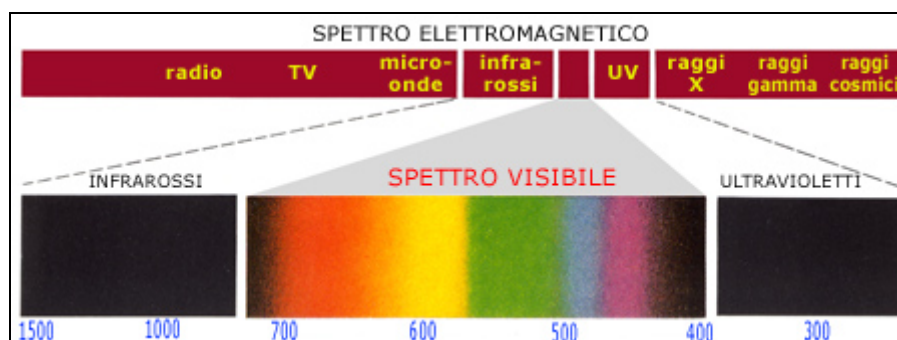


Fig.1.2. Lo spettro del visibile è solo una piccola porzione dello spettro elettromagnetico

Attualmente, per comodità, il limite dello spettro visibile è fissato nell’intervallo tra 380 e 780 nm.

I metodi usati dalla *Commission Internationale de l'Eclairage* (C.I.E. o CIE) per la determinazione dei colori non prevedono misurazioni a lunghezze d'onda maggiori di 673,5 nm o minori di 414,1 nm.

I limiti che si trovano in tabulati e tabelle sono compresi sempre tra 400 e 700 nm.

## 1.2. Lo spettro ottico

Le conoscenze attuali sullo spettro ottico sono il risultato di studi, ricerche e esperimenti effettuati dall'uomo nell'arco di centinaia di anni, in cui molti scienziati si sono dedicati e occupati del fenomeno luce, per conoscerne la natura e definirne le leggi fisiche per governarlo.

### Storia

La scoperta di *Isaac Newton* (1643-1727) dello spettro ottico ("spectrum") nel 1666 aprì la strada ad una scienza, la spettroscopia, che portò fondamentali contributi alla nascita e lo sviluppo di discipline scientifiche, come la chimica inorganica, la fisica atomica, l'astrofisica, solo per indicarne alcune.

Che la luce generasse figure iridescenti era un fenomeno ben noto nel 1600 o precedentemente, errata era la comprensione del fenomeno. Newton mostrò, accoppiando opportunamente due prismi con una lente convergente, che lo spettro ottico altro non era che l'immagine della scomposizione della luce solare rifratta da un prisma nelle sue componenti cromatiche. Dimostrò inoltre, isolando le diverse componenti cromatiche, per mezzo di più prismi, che le varie componenti cromatiche venivano separate per via del loro diverso grado di rifrangibilità.

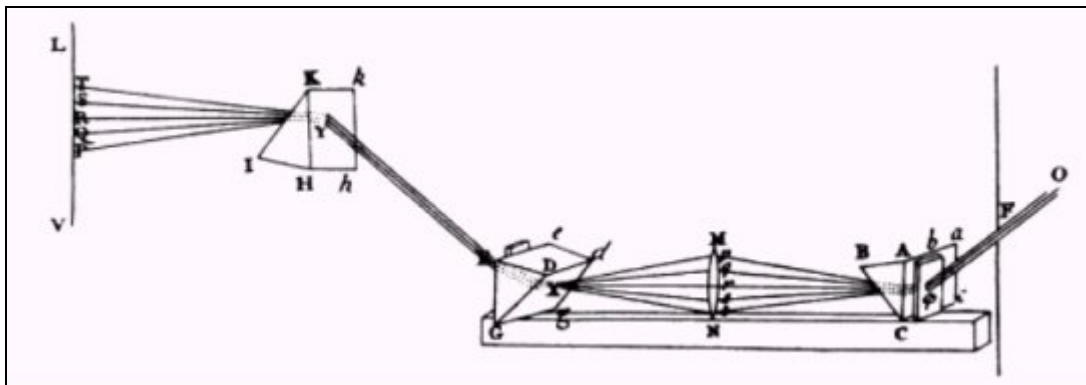


Fig.1.3. Schema dell'esperimento di Newton mediante l'utilizzo di più prismi

Nella figura 1.3., tratta dall'edizione di *Opticks* del 1721, Newton mostra chiaramente che le belle figure iridescenti generate dai prismi erano dovute alla decomposizione della luce nelle sue componenti cromatiche. L'idea generale prima della dimostrazione di Newton del 1666 era che i colori fossero generati "internamente" al prisma, che godeva di questa singolare proprietà analogamente alle goccioline d'acqua responsabili dell'arcobaleno.

Tutto il XVIII secolo fu povero di contributi nello studio dello spettro; maggior interesse presentava la disputa scientifica fra sostenitori della teoria ondulatoria e sostenitori della teoria corpuscolare. Solo un miglioramento della strumentazione ottica e l'impiego di fonti luminose che non fossero la sola luce solare diedero nuova linfa allo studio degli spettri.



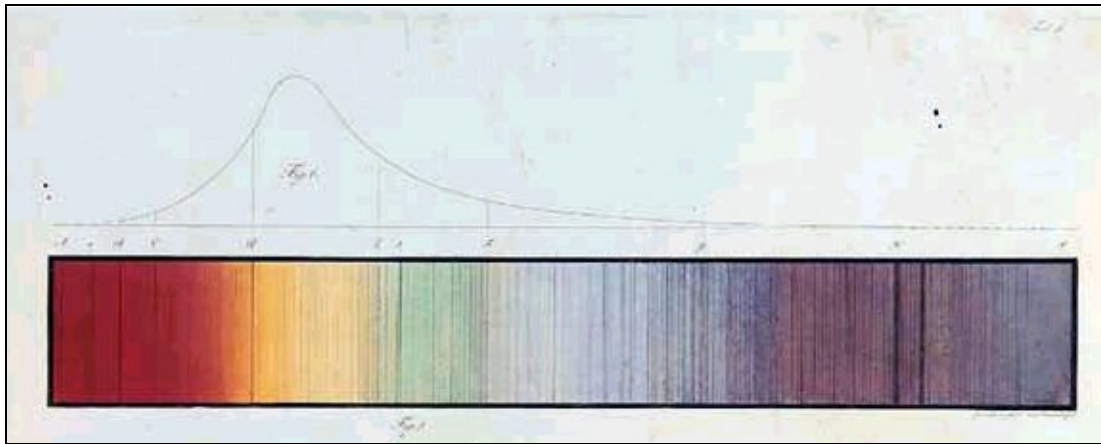


Fig.1.4. Schema dello spettro solare di Fraunhofer

*Joseph von Fraunhofer* (1787-1826), costruttore di strumenti ottici, rappresentò per tutta la prima metà del XIX, la figura di maggior spicco nello studio degli spettri: individuò 574 linee nere nello spettro solare, tra queste otto erano decisamente più nette figura 1.4.

Gli inizi dell'ottocento segnarono progressi fondamentali nello studio degli spettri. L'introduzione del reticolo di diffrazione da parte di Fraunhofer, e la scoperta di sostanze fotosensibili non solo alla radiazione visibile, permisero osservazioni di estrema precisione. Una enorme mole di dati difficilmente interpretabili dai chimici e dai fisici del tempo portò a sviluppi decisivi nella comprensione di un universo invisibile ma sensibile.

La scoperta della presenza di una qualche forma di radiazione al di là dello spettro ottico fu casuale; nel 1800 *William Herschel* (1738-1822), astronomo, studiando gli effetti termici dei colori dello spettro, osservò un aumento del potere termico spostandosi dal violetto verso il rosso. Posizionando il termometro poco fuori la regione rossa, un ulteriore aumento della temperatura fu segnalato. L'infrarosso era stato scoperto. Verificando il lavoro di Herschel, nel 1801 *Johann Wilhelm Ritter* (1776-1810), utilizzando del cloruro d'argento (sostanza termosensibile), osservò che lo spettro ottico doveva avere anche una estensione non visibile al di là della regione violetta. La scoperta di cinque linee nere all'interno dello spettro solare, di poco successiva, risale al 1802 ad opera del chimico *William Hyde Wollaston* (1766-1818).

Joseph von Fraunhofer riprese nel 1814 il lavoro di William Wollaston; 574 linee nere caratterizzavano lo spettro solare, tra queste sette erano decisamente prominenti, le nominò con delle lettere (dalla A alla G). La linea D, poi verificò essere un doppietto molto serrato. In studi precedenti sul potere dispersivo di vari tipi di vetro per luce di diversi colori osservò, utilizzando come sorgente una fiamma di candela e/o la scarica elettrica tra due elettrodi metallici, tra le altre linee, la presenza di due linee giallo-arancione molto vicine e brillanti. Le linee D del 1814 occupavano la medesima posizione nello spettro delle linee giallo-arancio osservate negli studi precedenti. von Fraunhofer non fu in grado di darne una spiegazione, pur notando la strana coincidenza (nota era alla maggioranza dei chimici la colorazione gialla delle fiamme qualora fosse aggiunto del sodio).

von Fraunhofer esaminò tra il 1817 e il 1823 lo spettro della luce dei pianeti e delle stelle riscontrando che:

- 1) lo spettro della Luna mostrava le linee nere più marcate di quelle del Sole;
- 2) gli spettri di Venere e Marte erano più deboli dello spettro solare con linee comuni alle linee principali;

3) gli spettri delle altre stelle mostravano linee comuni allo spettro solare.

von Fraunhofer fu un abile costruttore di strumenti ottici; lenti, telescopi di alta qualità erano prodotti nella sua officina. A lui si deve l'introduzione del reticolo di diffrazione, strumento ottico che permetteva oltre che la dispersione della luce nelle sue componenti cromatiche, più accurate misurazioni delle lunghezze d'onda delle radiazioni luminose.

Nel 1821 von Fraunhofer pubblicò la sua prima teoria sui reticoli di diffrazione, teoria derivata in continuità con la teoria corpuscolare di Newton. Solo nel 1935 Schwedler descriverà in chiave ondulatoria la teoria del reticolo di diffrazione.

John Herschel (1792-1871), figlio di William, e Fox Talbot (1800-1877) studiarono i cambiamenti di colore delle fiamme qualora venissero aggiunti sali di sodio, potassio e litio; ogni sostanza mostrava una luce con un proprio spettro che poteva servire ad identificarla. Era il 1826 e per la chimica del tempo, tali osservazioni potevano rappresentare una scoperta fondamentale, ciò avrebbe reso possibile identificare delle sostanze senza laboriose analisi chimiche; purtroppo tali osservazioni non ebbero la giusta risonanza internazionale.

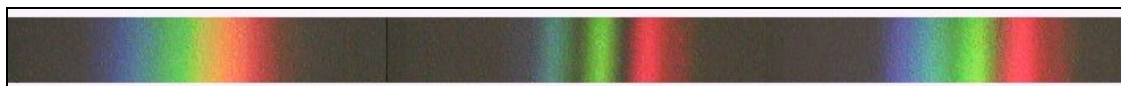


Fig.1.5. Assorbimento selettivo di vetri di natura diversa: nell'immagine a sinistra è mostrato lo spettro della luce bianca, al centro e a destra l'assorbimento selettivo di ben definite bande dello spettro da parte di particolari vetri

Gli studi del 1823 di John Herschel riguardarono invece l'assorbimento della luce da vetri colorati (figura 1.5.). La scoperta di un assorbimento selettivo di ben definite bande dello spettro della luce trovò completamento negli studi di David Brewster (1781-1868) del 1832. Gli spettri di assorbimento dei gas mostravano caratteristiche simili a quelli di Herschel. Brewster comparò lo spettro solare con gli spettri di assorbimento dei gas da lui studiati, osservando peculiari coincidenze tra le ultime righe dello spettro solare e le righe di assorbimento del "gas di acido nitrico" (oggi noto come perossido d'azoto). Le righe nere dello spettro solare, secondo Brewster, dovevano essere attribuite ad un selettivo assorbimento dell'atmosfera del Sole, rimaneva da individuare quali sostanze originassero l'assorbimento selettivo delle restanti righe di von Fraunhofer.

Rispettivamente del 1840 e del 1842 sono le scoperte di Herschel e di Edmond Bequerel (1842-1909) dell'estensione nell'infrarosso e nell'ultravioletto delle righe di von Fraunhofer.

L'impiego di nuove sorgenti luminose, come le scariche elettriche tra elettrodi di metalli diversi, permise a Charles Wheatstone (1808-1875) di esplorare gli spettri di alcuni metalli, Jean Foucault (1819-1868) utilizzò per le sue ricerche del 1849 una lampada ad arco (lampada composta da due elementi di carbone tra i quali scoccava un arco elettrico nel momento in cui era alimentata corrente elettrica) sui cui poli depose diverse sostanze. Foucault osservò nuovi spettri, nei quali riscontrò in ogni occasione le due intense linee gialle, già identificate da von Fraunhofer. Studiando lo spettro della luce della lampada ad arco si accorse, sovrapponendo luce solare, che le linee di von Fraunhofer erano molto più nette; in qualche modo, sottolineava Foucault, l'arco voltaico assorbiva ed emetteva la medesima luce. Alla metà degli anni cinquanta, quindi, una notevole quantità di osservazioni era stata compiuta, soprattutto tramite l'impiego di nuove sorgenti luminose (per di più con

una precisione ancor oggi invidiabile), tuttavia sia la comprensione dell'origine delle linee di von Fraunhofer che la strana natura delle linee D era alquanto poco chiara.



Fig.1.6. Spettro di emissione di una lampada al sodio, sono ben visibili le linee del doppietto di lunghezze d'onda 589, 589.6 nm. Le linee del doppietto del sodio assumeranno un ruolo di particolare importanza nei primi anni dello sviluppo della meccanica quantistica; ipotizzando che erano dovute all'interazione spin-orbita per gli elettroni dell'atomo di sodio, si pose così fine alla ricerca della loro origine misteriosa

Un passo avanti fu compiuto da *George Stokes* (1819-1903). In un lavoro non pubblicato del 1852, guidato dalle osservazioni di Foucault, Stokes attribuì la presenza delle linee D di von Fraunhofer a vapori di sodio presenti nell'atmosfera del Sole e delle stelle nelle quali le linee erano state osservate (figura 1.6.). Illuminanti pure le osservazioni secondo cui le linee degli spettri di emissione erano dovute a vibrazioni atomiche dello stesso periodo della luce emessa, l'assorbimento invece generava vibrazioni atomiche dello stesso periodo della luce assorbita, in accordo con il principio di risonanza.

E' utile precisare che ai tempi di Stokes i termini "molecola" ed "atomo" venivano utilizzati sostanzialmente come sinonimi, benché i lavori di *Amedeo Avogadro* (1776-1856) tra il 1810 e il 1820 avevano mostrato la differenza tra atomi e molecole. In breve, Avogadro aveva mostrato che qualora le molecole di un elemento potessero contenere più atomi, la teoria atomica di *Dalton* poteva spiegare molto semplicemente la legge di *Gay-Lussac*. Tale idea per lo più ignorata dai contemporanei di Avogadro fu fortunatamente riportata in auge solo nel 1858 da *Stanislao Cannizzaro* (1826-1910), con la piena accettazione della comunità scientifica.

Le idee di Stokes, come detto non rese pubbliche, erano contenute anche in un lavoro pubblicato da *Ångström* del 1853, che indipendentemente da Stokes "riscopri" le medesime cose. Fortunatamente Stokes nel 1952 ha pubblicato un altro lavoro nel quale ha focalizzato la propria attenzione sul fatto che la fluorescenza era eccitata da radiazioni al di là della regione violetta dello spettro, e studiando la trasparenza di diverse sostanze a questa radiazione invisibile, trovò che il quarzo era considerevolmente più trasparente di altre sostanze. Bequerel era stato già in grado di fotografare le righe nell'ultravioletto dello spettro solare, come già detto, tuttavia senza una completa comprensione delle proprietà del quarzo. Stokes scoprì inoltre che lo spettro delle scariche elettriche si estendeva nell'ultravioletto. Il lavoro degli spettroscopisti del tempo, salvo rare eccezioni, si basava su osservazioni visive, la fotografia degli spettri come prassi sistematica si affermerà solo in seguito.

*Gustav Kirchhoff* (1824-1877) e *William Bunsen* (1811-1899) nel 1859 stabilirono finalmente e chiaramente la relazione esistente tra spettri di emissione e di assorbimento.

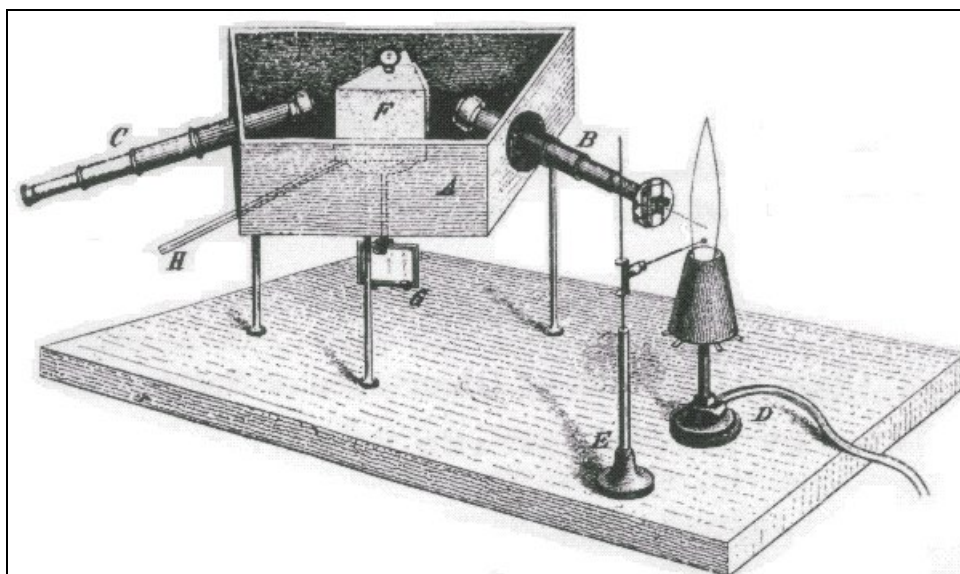


Fig.1.7. Lo spettroscopio di Kirchhoff e Bunsen era costituito da un collimatore, da un prisma e da un cannocchiale per poter misurare gli angoli di deviazione delle singole componenti cromatiche. La sorgente era un bruciatore progettato da Bunsen (il celebre becco-Bunsen) di modo da poter studiare gli spettri dei gas o l'emissione radiativa di sostanze solide immerse nella fiamma.

Facendo passare un raggio di luce solare di bassa intensità attraverso una fiamma di cloruro di litio Kirchhoff osservò: *"uno vede alla posizione specifica (della linea del litio) una brillante linea su sfondo nero; per una maggiore intensità della luce solare incidente, sempre nella stessa posizione appare una linea nera avente le stesse caratteristiche delle linee di von Fraunhofer"*. Usando come sorgente luminosa della limeligh (luce di una sorgente luminosa realizzata nel 1826, costituita da una bacchetta di calce immersa in una fiamma di idrogeno e ossigeno che per incandescenza irradiava luce bianca con uno spettro continuo), ne osservò il passaggio attraverso una fiamma in cui era presente del sodio. Esattamente nella posizione delle linee D di von Fraunhofer erano presenti due linee nere. In questa maniera Kirchhoff fu in grado di dimostrare la piena reversibilità dell'assorbimento e dell'emissione dei gas - *"dentro lo spettro, un elemento assorbe la luce nell'esatta posizione della luce che emette"*. Gli studi di Bunsen e Kirchhoff riguardarono inoltre sull'analisi degli spettri di diverse sostanze. La realizzazione di Bunsen di un bruciatore in grado di garantire luce di buona intensità, e soprattutto non discontinua, permise di scoprire nuovi elementi come il cesio (1860) e il rubidio (1861). L'idea su cui si basava il *bruciatore di Bunsen* era semplice quanto determinante, il gas di cui si voleva studiare lo spettro doveva essere miscelato con l'aria prima della combustione e non aggiunto in un secondo momento. Fu con Bunsen e Kirchhoff che la spettroscopia diventò, per i chimici del tempo, sensibilissimo strumento di analisi, fornendo tra l'altro conferme sperimentali alle teorie della chimica inorganica (figura 1.7.).

La pubblicazione della tavola periodica degli elementi da parte di *Dimitrij Mendeleev* (1834-1907) del 1869 trovò la prima conferma sperimentale proprio per mezzo dello spettroscopio nel corso del 1874.

Classificando gli elementi conosciuti, secondo il loro peso atomico, prendendo come unità il peso di un atomo d'idrogeno, come suggerito da *Jean Baptiste Dumas* (1800-1884) nel 1860 e precedentemente nel 1815 da *William Prout* (1785-1850) in una forma leggermente errata, Mendeleev lasciò degli spazi vuoti nella sua tabella per elementi previsti

ma non ancora isolati: l'eka-alluminio, l'eka-silicio, l'eka-boro. Nel corso del 1874 *Paul Emil Lecoq de Boisbaudran* (1833-1912) isolò un nuovo elemento e lo chiamò gallio; Mendeleev dimostrò che tale elemento era proprio l'eka-alluminio da lui predetto. La scoperta nel 1879 da parte di *Fredrik Nilson* (1840-1899) dello scandio (identificabile secondo *Theodor Cleve* con l'eka-boro) e del 1885 del germanio (l'eka-silicio) di *Clemens Alexander Winkler* (1838-1904) fecero sì che il sistema periodico fosse generalmente accettato.

Nel 1895 *Lord Rayleigh* (1842-1919) e *William Ramsay* (1852-1916) isolarono un nuovo gas che aveva la caratteristica di non combinarsi con nessun altro elemento, lo chiamarono argon. Apprendendo che un minerale contenente uranio, la cleveite, conteneva notevoli quantità di un gas che era stato studiato da *W. H. Hillebrand* in America, e che egli aveva deciso essere azoto, Ramsay ne volle analizzare un campione allo spettroscopio. Scoprì che lo spettro presentava una riga identica a quella identificata separatamente da *Zacharias Janssen* (1588-ca. 1631) e da *Norman Lockyer* (1836-1920) nel 1868 nello spettro del sole e da loro attribuita ad elemento ignoto sulla terra presente nell'atmosfera del Sole, l' "elio".

Sembrava non ci fosse posto né per l'argon né per l'elio nella tabella periodica. Audacemente Ramsay ipotizzò che essi formassero una nuova famiglia, il gruppo 0 della tabella, cioè il gruppo degli elementi che avevano valenza 0. Entro il 1898 furono scoperti il cripton, il neon e lo xeno, per distillazione frazionata dell'aria liquida. Per ultimo, il radon fu isolato da *Lord Rutherford* (1871-1937) nel 1900 che lo chiamò "emanazione". Fu *Fredrick Soddy* (1877-1956) a identificarlo come membro della famiglia dei gas inerti.

Anche l'astronomia beneficiò dei vantaggi che lo spettroscopio forniva come potente strumento di analisi; era già stato sottolineato da von Fraunhofer che lo spettro delle stelle e dei pianeti ne indicava la loro composizione; *William Huggins* (1824-1910) astronomo, nel 1868 fu in grado di determinare la velocità (nel riferimento terrestre) di alcune stelle dal proprio spettro in forza della teoria di *Christian Doppler* (1803-1853) del 1842. Ciò portò *Vesto Melvin Slipher* (1875-1969) nel 1912 ad osservare che le galassie avevano spostamenti Doppler verso il blu o il rosso se, rispettivamente si avvicinano o si allontanano dalla nostra galassia. Osservò inoltre che oltre una certa distanza dalla nostra, le galassie si allontanano con velocità crescente. Dieci anni dopo *Edwin Powell Hubble* (1889-1953) con un sistematico studio degli spettri delle galassie, giungerà alla legge che esprime la velocità di allontanamento delle galassie lontane.

### 1.3. I fotoni

Il fenomeno dell'assorbimento, dell'emissione e l'effetto fotoelettrico conferma la natura corpuscolare della luce, i cui corpuscoli, detti *fotoni*, possiedono un'energia pari a

$$U_p = h \cdot \nu$$

dove

$U_p$  è l'energia dei fotoni

$h = 6,62559 \cdot 10^{-34}$  Js è la costante di Planck

$\nu$  è la frequenza di propagazione

L'energia  $U_p$  dei fotoni è direttamente proporzionale alla loro frequenza di propagazione e la costante di proporzionalità diretta è la *costante di Planck*, una delle costanti universali più

importanti della fisica.

L'effetto fotoelettrico consiste nell'emissione di elettroni dalla superficie di un metallo quando questa viene colpita da luce (visibile, ma soprattutto ultravioletta) di frequenza sufficientemente elevata.

Ad ogni metallo è associata una specifica *frequenza di soglia*  $\nu_0$  della radiazione incidente tale che, se la radiazione ha frequenza  $\nu < \nu_0$ , l'effetto non ha luogo: si manifesta solo quando  $\nu > \nu_0$ . In tal caso, la superficie emette degli elettroni in misura proporzionale alla intensità della radiazione incidente (quantità di energia trasmessa su unità di superficie e tempo; l'intensità si misura in Watt/m<sup>2</sup>). Tale fenomeno è praticamente istantaneo e cessa immediatamente se cessa la radiazione incidente. Inoltre, l'energia cinetica con cui gli elettroni sono emessi è una funzione crescente della frequenza della radiazione incidente.

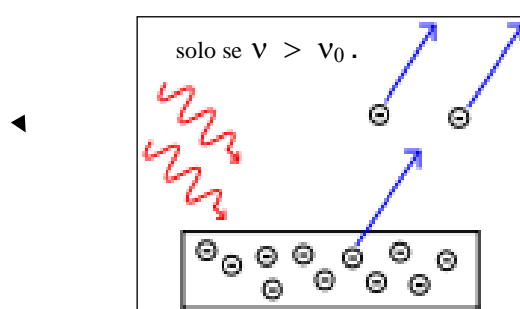


Fig.1.8. L'effetto fotoelettrico esterno

Tale fenomeno non poteva essere spiegato con la teoria ondulatoria e pertanto *Einstein* propose nel 1905 di considerare la luce e, in generale, tutte le radiazioni elettromagnetiche, costituita da unità minime dette fotoni o quanti di luce. Ogni singolo fotone trasporta una ben determinata quantità di energia e di quantità di moto e si muove sempre alla velocità della luce; non esiste cioè nessun osservatore rispetto al quale un fotone possa essere fermo. L'energia di un fotone dipende dalla frequenza della radiazione di cui fa parte secondo la relazione vista sopra. Quindi l'energia di un singolo fotone è proporzionale alla frequenza, e la costante  $h$  funge da costante di proporzionalità

Il modello per cui la radiazione è un fascio di fotoni spiega molto bene l'effetto fotoelettrico. Infatti, poiché l'energia della radiazione è concentrata nei fotoni, si può pensare che essa venga trasmessa agli elettroni di conduzione del metallo mediante urti fotone-elettrone o mediante *assorbimento* del fotone da parte dell'elettrone: questo significa che *un elettrone non acquista energia a poco a poco in un tempo relativamente lungo, ma in un processo istantaneo che - a giudicare dalle misure effettuate - avviene in meno di  $10^{-8}$  secondi*. Si spiega quindi come l'effetto fotoelettrico sia quasi istantaneo. Ma soprattutto si spiega la dipendenza del fenomeno dalla frequenza della radiazione: se  $\nu$  è piccola, i fotoni della radiazione incidente trasportano poca energia; se l'energia  $U$  è minore del lavoro di estrazione la radiazione non può estrarre nessun elettrone. In base a questo ragionamento si trova che la frequenza di  $\nu_0$  è legata al lavoro di estrazione  $L$  dalla relazione.

$$h \cdot \nu_0 = L$$

equazione che è stata verificata con ottima precisione.

Ne segue che l'energia cinetica con cui un elettrone "evapora" per effetto fotoelettrico è data da



$$U = h \cdot \nu - h \cdot \nu_0$$

relazione anch'essa molto ben confermata dall'esperienza, dove  $\nu$  è la frequenza della radiazione incidente. Nella maggior parte dei casi la frequenza di soglia corrisponde alla regione dell'ultravioletto: non è quindi possibile ottenere l'effetto fotoelettrico mediante luce visibile.

Questo fenomeno è un processo di interazione della radiazione elettromagnetica con la materia durante il quale l'energia dei fotoni è trasferita ad altrettanti elettroni. Gli elettroni, assorbendo energia, modificano il loro stato, e l'effetto fotoelettrico può distinguersi in esterno ed interno.

Se è esterno, irradiando un conduttore, si verifica che da questo fuoriescano degli elettroni secondo le due seguenti regole

1. l'energia cinetica  $U$  degli elettroni emessi dipende solo dalla frequenza  $\nu$  della radiazione incidente e da una costante  $\Psi$  tipica del conduttore, ma non dall'energia della radiazione
2. al di sotto di una certa frequenza di soglia  $\nu_0$ , indipendentemente dalla densità di energia della radiazione, non vi è emissione di elettroni.

L'effetto fotoelettrico è interno quando un elettrone, assorbendo un fotone, subisce un cambiamento di stato energetico senza uscire dal corpo e rendendo, ad esempio, conduttore il corpo che prima non lo era.

#### **1.4. La polarizzazione di un'onda elettromagnetica**

Fu solo agli inizi del 1800 che alcune importanti esperienze condotte soprattutto da *Augustin Jean Fresnel* (1788-1827) dimostrarono una importante caratteristica delle onde luminose che era insospettata fino ad allora, e cioè che le onde luminose sono trasversali e non longitudinali, come quelle sonore. Un'onda si dice trasversale quando lo spostamento di un singolo elemento dell'onda avviene perpendicolarmente alla direzione di propagazione; si dice longitudinale se lo spostamento è parallelo alla direzione di propagazione. Tale scoperta è legata allo studio del fenomeno della polarizzazione. Poiché la luce si forma per le vibrazioni che avvengono a livello atomico, corrispondenti ad assorbimento e successiva emissione di energia, da una sorgente luminosa vengono emessi numerosissimi treni d'onda che oscillano in differenti piani, senza che se ne possa individuare qualcuno privilegiato.

Esistono tuttavia in natura alcuni materiali che hanno una sorprendente capacità. Se un raggio luminoso viene fatto passare attraverso di essi, sono in grado di riallineare tutti i piani di vibrazione dei vari treni d'onda. La luce che si ottiene in tal modo viene detta polarizzata e la sostanza utilizzata viene detta polarizzatore (figura 1.9.).

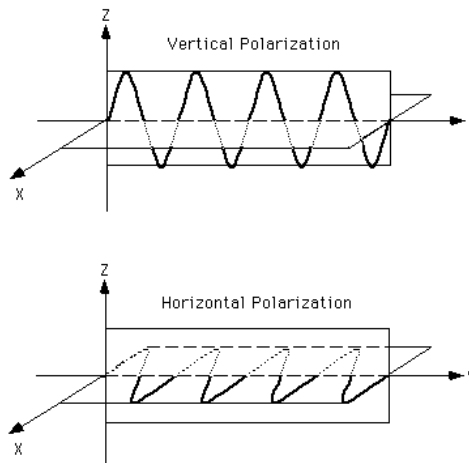


Fig.1.9. Esempi di polarizzazione

Se si considera un altro elemento in grado di polarizzare la luce e lo si applica ad un raggio polarizzato, se esso è disposto nello stesso verso del primo polarizzatore, il raggio non subisce alcuna modificazione. Se invece facciamo ruotare il secondo polarizzatore, l'intensità luminosa va sempre diminuendo, fino ad annullarsi completamente quando la rotazione è di 90°. La spiegazione di tale fenomeno è immediata se si osserva lo schema delle figure seguenti (figure 1.10. e 1.11.).

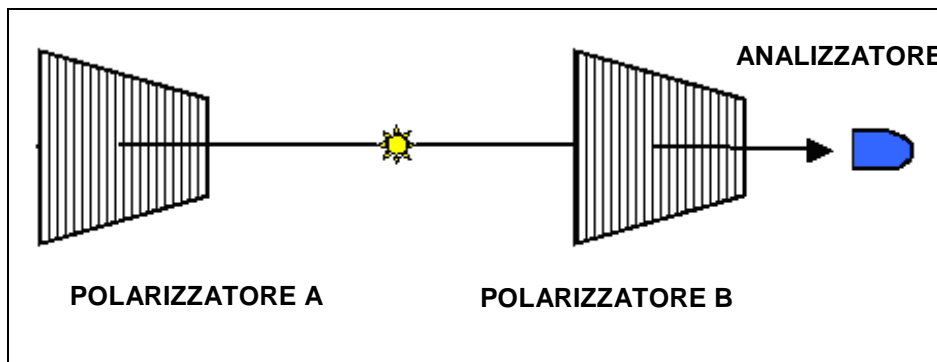


Fig.1.10. Schema con due polarizzatori allineati

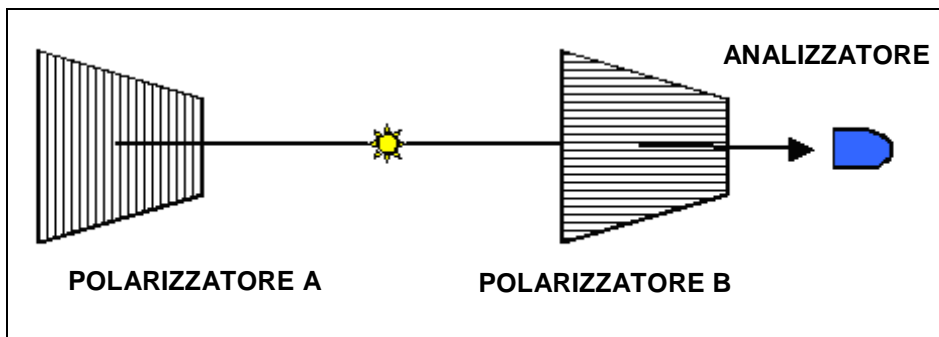


Fig.1.11. Schema con due polarizzatori ruotati di 90°

La variazione dell'intensità luminosa è espressa dalla *Legge di Malus*:

$$I = I_m \cdot \cos^2 \phi$$

dove  $\phi$  è l'angolo formato tra i due polarizzatori, e  $I_m$  è la massima intensità finale del raggio.

La conferma del fatto che le onde luminose sono trasversali è dovuta al fatto che se ripetiamo gli esperimenti che producono l'interferenza con raggi di luce polarizzata, non si produce sullo schermo alcuna figura d'interferenza. Questa proprietà è tipica delle onde trasversali.

### 1.5. Riflessione e rifrazione

Una importante proprietà della luce consiste nel fatto che, se non viene ostacolata, essa si propaga in linea retta. Questo possiamo vederlo dalla esperienza di ogni giorno. Per semplificare il discorso immaginiamo quindi un sottile pennello di luce, un raggio di luce, che rappresenteremo come una linea retta.

Quando un raggio di luce incontra un ostacolo esso può essere assorbito e riflesso o anche trasmesso. Assorbimento e riflessione riguardano sia un corpo opaco che uno trasparente, la trasmissione solo uno trasparente. Consideriamo un corpo trasparente. Il raggio incidente, proveniente per esempio dall'aria, come colpisce la superficie di un altro corpo, ad esempio dell'acqua, si divide in due parti. Una parte viene riflessa di nuovo verso il mezzo di provenienza, un'altra invece penetra nel nuovo mezzo e si trasmette in esso. Si può verificare che l'angolo di incidenza ( $\alpha_i$ ) e quello di riflessione ( $\alpha_r$ ) sono sempre identici, mentre quello rifratto (o trasmesso,  $\alpha_t$ ) dipende dai due mezzi e dalla lunghezza d'onda del raggio di luce. Più precisamente dal loro *indice di rifrazione* per una data lunghezza d'onda. Quindi, ne segue che, fissati i due mezzi in cui la luce si propaga, raggi di luce che viaggiano con lo stesso angolo nel primo mezzo si troveranno a viaggiare con diverso angolo, cioè saranno separati, nel secondo mezzo se hanno diversa lunghezza d'onda. In tal modo è possibile scomporre nei suoi colori la luce bianca, come si fa con un prisma.

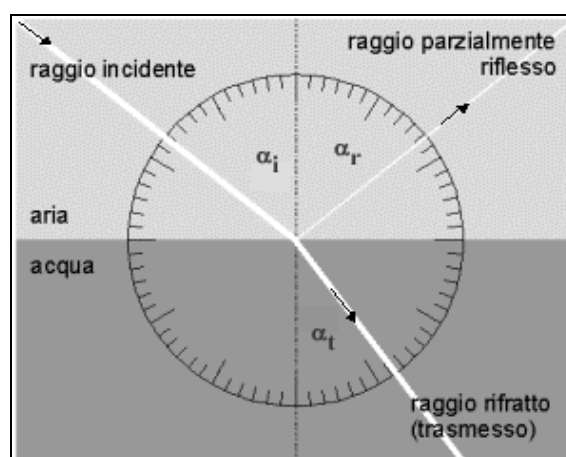


Fig.1.12. Riflessione e rifrazione

### 1.6. Emissione di luce

Quando la materia assorbe diverse forme di energia (termica, elettrica, elettromagnetica, meccanica) può rimetterla sotto forma di onde elettromagnetiche che possono avere differenti caratteristiche in funzione di molti fattori, quali la natura del materiale, il suo stato fisico (solido, liquido, aeriforme) e la quantità di energia assorbita.

Nel caso in cui gli atomi sono isolati, come in un gas rarefatto, secondo la teoria atomica,, l'assorbimento e l'emissione di energia nel campo dei fenomeni luminosi, sono dovuti agli elettroni legati al nucleo atomico.

Il matematico svizzero *Johann Jakob Balmer* scoprì nel 1885 che nel gas idrogeno le lunghezze d'onda alle quali si registra l'emissione, dette "righe spettrali" (*serie di Balmer*), e che rappresentavano lo spettro nel visibile dell'idrogeno gassoso seguivano la legge empirica

$$\lambda = \frac{364,56 \cdot n^2}{n^2 - 4} \quad \text{per } n \geq 3 \text{ nm}$$

Per il fotone vale la legge

$$U_p = h \cdot \nu$$

che lega la sua energia con la sua frequenza e pertanto l'emissione luminosa di un gas avviene in un insieme discreto di frequenze e lunghezze d'onda, rappresentato a destra nella fig.1.13. come spettro di righe dell'idrogeno. Questo grafico prende il nome di diagramma spettrale di una radiazione e riporta una grandezza radiometrica (tipo il flusso) in funzione della lunghezza d'onda. La funzione che descrive l'energia emessa in funzione della lunghezza d'onda è detta *spettro o distribuzione spettrale* della radiazione.

Nella banda ottica lo spettro dell'idrogeno mostra quattro righe a diverse lunghezze d'onda, che sono prodotte per l'emissione di un fotone da parte di un elettrone che, da uno stato eccitato, si sposta al livello quantico descritto dal numero quantico principale con  $n=2$  (figura 1.13.). Passando a materiali più densi, gas con densità maggiori, liquidi e solidi, gli elettroni sono distribuiti in bande all'interno delle quali assumono valori pressoché continui. I diagrammi spettrali che ne derivano sono continui e sono simili a quello descritto nella figura 1.14.

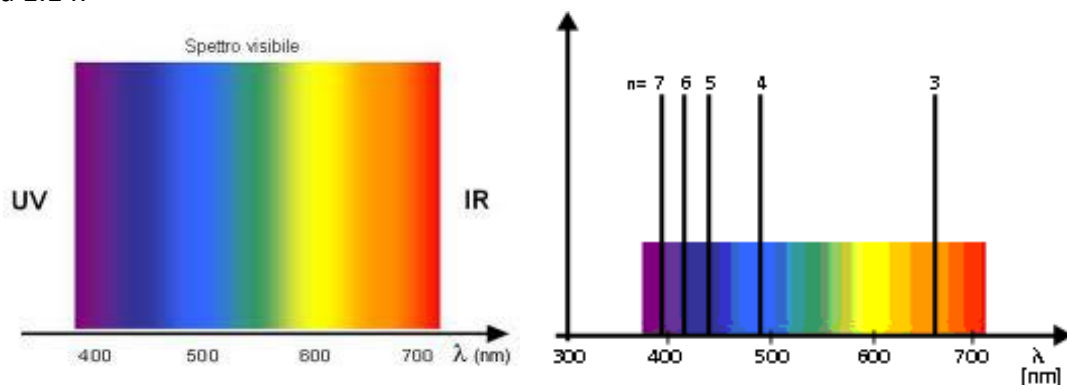


Fig.1.13. A sinistra lo spettro del visibile. A destra lo spettro di righe dell'idrogeno

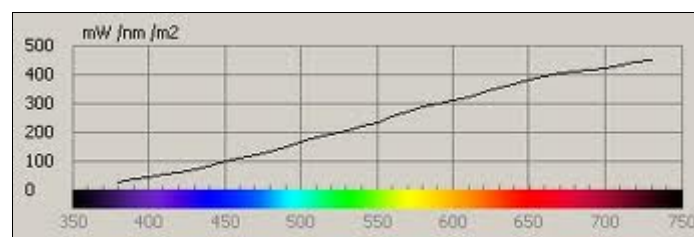


Fig.1.14. A sinistra lo spettro del visibile. A destra lo spettro di righe dell'idrogeno

## 1.7. Caratteristiche spettrali della luce

### La dispersione

La dispersione della luce avviene al passaggio della luce tra mezzi otticamente diversi tra loro ed è legato al fatto che l'indice di rifrazione dipende dalla lunghezza d'onda.

Il problema di dare una spiegazione alla natura e alla formazione del colore si trascinò per lunghissimo tempo su impostazioni sbagliate ed anche dopo che gli studi sulla natura della luce avevano raggiunto livelli accettabili, ci volle molto tempo prima che si riuscisse a capire che il colore non sussiste solo come entità oggettiva, ma è condizionato da numerosi fattori. Noi infatti siamo in grado di attribuire, in base alle nostre percezioni, ad ogni oggetto il proprio colore; però verificiamo continuamente come questo colore risenta delle condizioni ambientali circostanti, del grado di illuminazione ed anche delle particolari condizioni in cui si trovano i nostri occhi, come facili e comuni esperienze ci consentono di verificare. Ad esempio se proviamo a guardare il sole con gli occhi chiusi, essi risulteranno impressionati per un certo periodo di tempo dalla luce rosso-arancio che filtra attraverso le palpebre, si da diventare particolarmente sensibili a questo colore. Quando riapriremo gli occhi tutte le tinte ci appariranno "povere" di rosso-arancio e quindi di tonalità più fredda, tendente al verde-azzurro.

I fattori fisiologici accennati, pur non formando oggetto di studio dell'ottica fisica, sono importanti poiché possono anche suggerire delle piste di ragionamento che portano a conclusioni sbagliate, come in effetti è successo.

Il colore non è una qualità intrinseca degli oggetti che la luce mette in evidenza, ma l'effetto dell'interazione del raggio luminoso con la sostanza, cioè è la luce che ha in sé il colore. Ciò è stato provato con la scoperta, da parte di Newton, del fenomeno della dispersione della luce, già intuito da *Cartesio* (*René Descartes*, 1596-1650 ) nel tentativo di spiegare la formazione dell'arcobaleno.

Isaac Newton osservò un raggio di luce che filtrando attraverso un foro dell'imposta, attraversava un prisma di vetro. L'immagine così prodotta si raccoglieva sulla parete opposta formando una fascia luminosa oblunga suddivisa in bande di sette colori diversi, che andavano dal rosso al violetto.

Se mediante una lente la luce veniva concentrata nuovamente, Newton riottenne un fascio di luce bianca, segno inequivocabile che la luce bianca è la sintesi dei raggi colorati e che la loro formazione dipende dal raggio luminoso e non dal prisma. Newton provò inoltre che ogni singolo colore non è ulteriormente scomponibile: grazie ad un diaframma egli isolò dal fascio un raggio di un unico colore, e lo fece attraversare un altro prisma, ma il fascio di luce non subì alcuna ulteriore modificazione.

Nel dare una spiegazione al fenomeno della dispersione Newton restò fedele ai principi della teoria corpuscolare. La luce, evidentemente, è composta da particelle che non subiscono tutte la medesima rifrazione. Poiché, secondo la teoria corpuscolare, la rifrazione è dovuta ad una forza che agisce quando la luce attraversa la superficie di separazione fra due sostanze, ne segue che le particelle che hanno una massa più piccola subiscono una maggiore deviazione, e vanno a costituire le bande luminose colorate più esterne.

D'altro canto anche nell'ambito della teoria ondulatoria la dispersione trova una spiegazione plausibile semplicemente supponendo che ogni fascia di colore comprende onde di una certa frequenza e che quindi un fascio di luce bianca è composto da onde con differenti lunghezze d'onda. Poiché, come sappiamo, in certi mezzi le onde di differente frequenza viaggiano con differente velocità, ecco spiegato il fenomeno della dispersione.

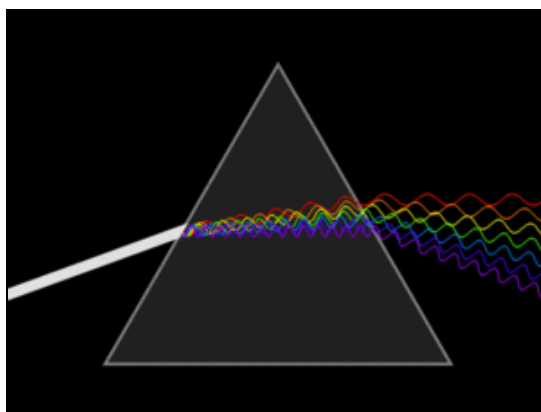
A prima vista, entrambe le spiegazioni appaiono ugualmente accettabili, ma grazie agli studi condotti da *Eulero* (*Leonhard Euler*, 1707-1783) e dall'inglese *J. Dallan*, si è provato che la prima ipotesi è errata.

Una prova si è avuta nell'ambito degli studi sulla aberrazione cromatica, fenomeno che si ha quando si osserva un corpo luminoso con una lente. Essa, infatti, in una certa misura, si comporta come un prisma, disperdendo parte della luce proveniente dall'oggetto osservato, che apparirà così con un contorno sfumato di colore. Ciò è fastidioso soprattutto nelle osservazioni astronomiche poiché i telescopi forniscono immagini sfocate. Il fenomeno dell'aberrazione riguarda la rifrazione della luce, ma non la riflessione, pertanto *Newton* ebbe l'idea di utilizzare un sistema di specchi per eliminarla costruendo così il primo telescopio "acromatico".

L'idea di ricorrere agli specchi gli era suggerita anche dalla concezione che aveva sulla natura della luce; se infatti l'aberrazione è dovuta alle differenti masse delle particelle di luce, un qualsiasi sistema di lenti non potrà mai correggere l'aberrazione, poiché particelle con masse differenti devono sempre essere deviate in modo diverso. *Eulero* teoricamente e *Dallan* praticamente provarono invece il contrario, cioè utilizzando solo delle lenti, costruirono un obiettivo acromatico.

Questo risultato è compatibile solo con la teoria ondulatoria. In essa infatti è lecito che, combinando opportunamente lenti differenti, si riesca a rifrangere allo stesso modo componenti monocromatiche diverse.

La dispersione nelle lenti produce l'aberrazione cromatica, un effetto indesiderato, che può distorcere le immagini in microscopi, telescopi ed obiettivi fotografici. Tale fenomeno negativo può essere corretto o ridotto accoppiando lenti di vetro con indice di rifrazioni opportune.



*Fig.1.15. Il dispositivo classico per l'analisi spettrale in dispersione è il prisma*

La dispersione della luce nel vetro di un prisma è usata per costruire spettrometri e spettroradiometri. Sono utilizzati anche reticoli olografici, poiché consentono una discriminazione più accurata delle lunghezze d'onda.



## **La diffrazione**

Una volta assunta valida la teoria ondulatoria, c'è da aspettarsi che per la luce sussistono alcuni fenomeni che si osservano in generale per le onde, cioè la diffrazione e l'interferenza. Questi fenomeni sono facilmente riscontrabili per quel che riguarda ad esempio le onde sonore, ma non è così per la luce, poiché le onde che compongono il raggio luminoso sono di dimensioni notevolmente più piccole rispetto alle onde sonore, per cui fenomeni che si producono a livello microscopico sono talvolta non bene osservabili a livello macroscopico. Ciò nonostante fenomeni di diffrazione e di interferenza furono osservati già nel 1600 dal Bolognese Padre *Francesco Maria Grimaldi* (1618-1663), il quale pubblicava nel 1665 la sua opera "*Physicamathesis de Lumine, Coloribus et Tride*", in cui per la prima volta si parlava di diffrazione della luce. Ma solo successivamente tali fenomeni vennero interpretati a conferma della teoria ondulatoria: per lungo tempo, anche a causa della grande autorità di cui Newton godeva negli ambienti scientifici, furono oggetto di discussioni che erano destinate a non portare alcun contributo alla comprensione dei fenomeni, poiché non si sganciavano dalla concezione errata della luce come sciame di particelle materiali.

La diffrazione è un fenomeno fisico associato alla deviazione della traiettoria delle onde (come anche la riflessione, la rifrazione, la diffusione o l'interferenza) quando queste incontrano un ostacolo sul loro cammino. È tipica di ogni genere di onda, come il suono, le onde sulla superficie dell'acqua o le onde elettromagnetiche come la luce o le onde radio; la diffrazione si verifica anche nelle particolari situazioni in cui la materia mostra proprietà ondulatorie, in accordo con la dualità onda-particella. Gli effetti di diffrazione sono rilevanti quando la lunghezza d'onda è comparabile con la dimensione dell'ostacolo. In particolare per la luce visibile (lunghezza d'onda attorno a  $0,5 \mu\text{m}$ ) si hanno fenomeni di diffrazione quando essa interagisce con oggetti di dimensione sub-millimetrica.

Importante è anche il fenomeno dell'*interferenza*, dovuto alla sovrapposizione, in un punto dello spazio, di due o più onde.

La luce, attraverso la percezione visiva, ha permesso all'uomo la sopravvivenza sulla terra. Consente la visione dell'ambiente che ci circonda, permette di misurare lo spazio, stabilire forma e colore degli oggetti circostanti e la qualità della materia.

I mutamenti della luce nel corso della giornata permettono di intuire il trascorrere del tempo.

Gli occhi sono di gran lunga lo strumento più importante a disposizione dell'uomo per appropriarsi delle relazioni tra spazio e tempo.

Sorgente primaria della luce per l'uomo resta il sole, non a caso assunto a divinità per i popoli antichi.

## **Allegato 8 – capitolo 2. Il colore**

La *Commission Internationale de l'Eclairage*, organismo internazionale che si occupa della definizione degli standard relativi al colore, definisce il colore come

*“attributo della percezione visiva consistente in qualsiasi combinazione cromatica o acromatica. Questo attributo può essere descritto da termini cromatici quali giallo, arancio, marrone, rosso, etc. o da altri termini acromatici quali bianco, grigio, nero, etc. e qualificato da termini come brillante, pallido, chiaro, scuro, etc o da combinazioni dei termini sopra citati. Il colore percepito dipende dalla distribuzione spettrale dello stimolo relativo, dalle dimensioni, dalla forma, dalla struttura e dallo sfondo dell'area osservata, dallo stato di adattamento del sistema visivo di chi osserva, dalla sua esperienza e da condizioni di osservazioni simili e prevalenti. Il colore percepito può avere diversi modi di apparenza, i nomi di questi vari modi hanno lo scopo di distinguere tra differenze qualitative e geometriche nella percezione del colore stesso”.*

Il colore è la sensazione cromatica ed è la risultante di un fenomeno fisico e di un fenomeno percettivo.

Lo studio del colore riguarda pertanto più discipline:

- la fisica, in particolare l'ottica per tutto ciò che avviene all'esterno del sistema visivo;
- la fisiologia, per quanto riguarda il funzionamento dell'occhio e la generazione, elaborazione, codifica e trasmissione dei segnali nervosi dalla retina al cervello;
- la psicologia, per quanto riguarda l'interpretazione dei segnali nervosi e la percezione del colore

ma coinvolge anche

- la psicofisica che studia la relazione tra lo stimolo e la risposta del sistema visivo (la colorimetria è una parte della psicofisica);

inoltre

- la matematica, necessaria per lo sviluppo di modelli rappresentativi della visione del colore.
- la fotometria e l'illuminotecnica

Il colore è la percezione visiva generata dai segnali nervosi che i fotorecettori della retina mandano al cervello quando assorbono radiazioni elettromagnetiche di determinate lunghezze d'onda e intensità.

### **2.1. Il colore della materia**

Il colore è un'illusione e non esiste in natura, ma è l'elaborazione del sistema visivo umano allo stimolo luminoso.

Quando la luce colpisce un oggetto, viene assorbita, riflessa o trasmessa.

La lunghezza d'onda determina come l'onda interagisce con la materia.

La quantità di luce che viene riflessa o trasmessa è descritta dalla sua funzione spettrale di riflettanza o trasmittanza. Si tratta della funzione che, per ogni lunghezza d'onda, descrive la frazione di intensità luminosa che viene riflessa o trasmessa.

Il fenomeno di interazione luce/materia può essere descritto dalle seguenti fasi

*Fase 1*

In un atomo allo stato di quiete ogni elettrone mantiene una posizione precisa e ben definita

*Fase 2*

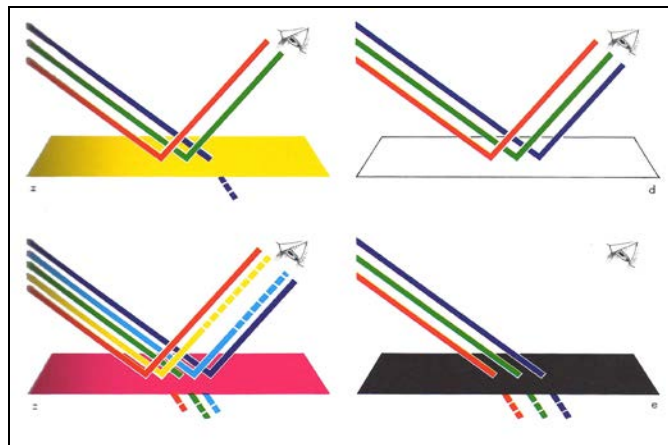
Quando un atomo viene investito da un fascio luminoso gli elettroni assorbono l'energia dei fotoni e saltano ad un orbitale più esterno, energeticamente più alto

*Fase 3*

Non potendo restare a lungo su questo orbitale energeticamente più alto, ritornano su uno interno, energeticamente più basso

*Fase 4*

Durante questa caduta sull'orbitale più interno gli elettroni cedono l'energia accumulata sotto forma di fotoni: La materia emette quindi dei fotoni diventando lei stessa una sorgente luminosa. La luce riflessa in ogni lunghezza d'onda determina la sua curva di riflettanza, che la caratterizza.



*Fig.2.1. L'occhio umano percepisce colori diversi di queste superfici, perché queste hanno un comportamento differente nei confronti dei raggi incidenti in funzione delle loro proprietà intrinseche.*

Il differente comportamento di ogni superficie nei confronti della luce incidente è in funzione dei pigmenti contenuti, della propria composizione e della sua struttura molecolare.

Se la composizione spettrale della luce varia anche l'aspetto colorato della materia varia.

I corpi ci appaiono dello stesso colore

- se hanno stessa struttura molecolare
- se sono illuminati dalla medesima sorgente

L'occhio umano, infatti, non ha potere di risoluzione, cioè non è in grado di percepire la differenza tra una radiazione monocromatica, poniamo, verde ed una mista composta di giallo + ciano, cosicché posto in relazione con queste due radiazioni, l'occhio le percepirà entrambe come verdi.

Ogni materia dunque si comporta nei confronti delle onde elettromagnetiche visibili in un modo che le è proprio.

TRASPARENTE: si dice di un corpo che si lascia completamente attraversare dalla luce.

OPACO: se assorbe alcune radiazioni della luce e ne riflette altre.

COLORATO: ci appare colorata ogni sostanza o superficie che *sottrae* alcune radiazioni e *trasmette per riflessione* tutte le altre, in base alla propria struttura molecolare.

La luce riflessa da un oggetto riconoscibile come “*colore*” (ad eccezione della luce monocromatica) è una combinazione di luce di varie lunghezze d’onda nella regione del visibile che forma la curva di riflettanza spettrale dell’oggetto.

NERO: è un corpo che assorbe tutte le onde elettromagnetiche visibili e non ne riflette alcuna. L’energia luminosa assorbita si trasforma in energia termica, per questo il corpo nero si scalda.

BIANCO: è un corpo, viceversa, che riflette tutte le onde elettromagnetiche.

GIALLO: assorbe tutte le radiazioni nella zona spettrale dei viola e riflette quelle che sono comprese nella zona degli arancioni e dei verdi e così via.

Le relazioni esistenti tra l’assorbimento e la riflessione sono di estrema importanza.

La conoscenza infatti dei coefficienti di assorbimento e di riflessione delle superfici dei materiali consente di prevedere la concentrazione dei componenti colorati necessari per produrre un colore desiderato.

*Il colore di un oggetto della stessa materia può apparire diverso in funzione dei seguenti fattori, già menzionati nella definizione della CIE*

- *diverse sorgenti luminose*
- *differenze di sfondo, del suo colore, della sua luminosità o di altri colori circostanti. I pittori, per individuare un colore, lo osservano attraverso un tubo dipinto all’interno di nero .*
- *differenze di direzione: cambiando l’angolazione dell’osservazione e di illuminazione di un oggetto il colore può variare*
- *differenze di osservatore. La sensibilità visiva che varia da persona a persona; in generale le donne distinguono le sfumature meglio degli uomini, inoltre con l’avanzare dell’età l’occhio umano distingue con maggiore difficoltà le tonalità nel violetto.*
- *differenze di dimensioni. Tra un campione colorato di piccole dimensioni e lo stesso colore applicato ad una grande superficie, il colore generalmente appare più luminoso e più saturo*

## **2.2. Il metamerismo**

Il metamerismo è un fenomeno che si manifesta quando due corpi appaiono dello stesso colore pur avendo curve spettrali differenti.

Per questo motivo due oggetti possono avere lo stesso colore quando vengono illuminati da una determinata luce, mentre il loro colore appare diverso quando vengono illuminati da altre luci. Con delle misurazioni spettrofometriche è possibile riconoscere questo fenomeno.

## **Allegato 9 – capitolo 3. La visione cromatica**

### 3.1. La fisiologia delle visione a colori

#### *Il sistema ottico e l'elaborazione di immagini*

##### *L'occhio*

Gli occhi sono pari e simmetrici, posizionati nelle due cavità orbitali del cranio.

L'occhio (figura 3.1) è costituito da:

- un bulbo oculare o occhio propriamente detto
- una serie di organi accessori
- gli annessi
- l'apparato muscolare estrinseco

L'occhio è un organo sensorio complesso che converte l'energia luminosa in segnali elettrici che vengono elaborati dal cervello. Oltre il bulbo oculare (detto anche globo) che è l'elemento principale, gli elementi accessori sono finalizzati al movimento (muscoli oculari) ed altri hanno una funzione protettiva (palpebre, ciglia, sopracciglia, apparato lacrimale).



*Fig.3.1. L'occhio umano*

L'apparato muscolare estrinseco ha il compito principale di coordinare il movimento dei due bulbi oculari, che deve essere sincrono nei due occhi.

Collegato all'occhio si riconosce un apparato lacrimale, che svolge attività metaboliche e attività protettive.

L'occhio viene protetto esternamente anche dalle palpebre e dalle ciglia.

Ad occhio aperto appare una superficie bianca, la sclera, che corrisponde alla superficie anteriore del bulbo oculare che rimane scoperta, delimita al centro un'area circolare pigmentata detta iride, che a sua volta delimita un'ulteriore area circolare, la pupilla, che solitamente si presenta nera.

La colorazione dell'iride è un carattere soggettivo e caratteristico; può essere anche indice di malattie, come nel caso dell'albinismo, quando si presenta chiarissima o venata di rosso, in relazione al comparire del circolo sanguigno a causa della mancanza di pigmentazione.

Rovesciando le palpebre, si potrà vedere uno spazio delimitato dalla congiuntiva, al punto di riflessione di questa membrana si trova il fornice congiuntivale.

A livello della commessura mediale si potranno rilevare i condotti lacrimali.

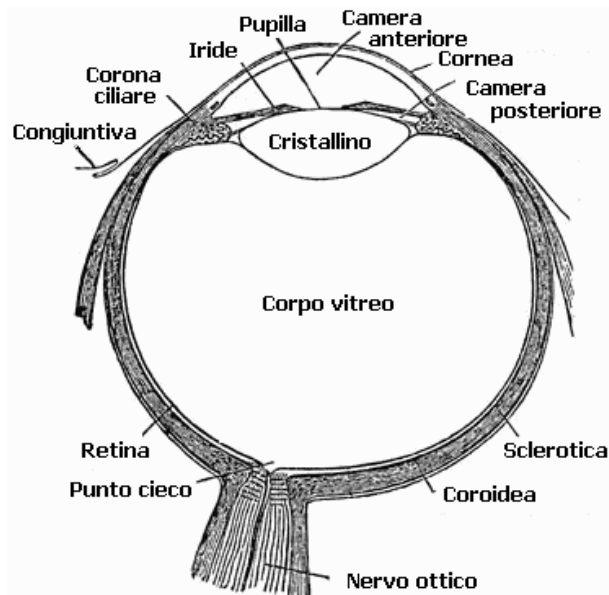


Fig.3.2. Anatomia dell'occhio umano

Il bulbo o globo oculare ha una forma sferoidale, nella quale si riconosce un polo anteriore ed uno posteriore (figura 3.2). A livello del polo posteriore si diparte il nervo ottico da un'area molto limitata da una fitta corona di altre emergenze nervose, che costituiscono i fasci più esterni di questo nervo. Sezionando il bulbo lungo l'asse antero posteriore, si potrà vedere come esso sia suddiviso in due camere, una anteriore e una posteriore, seguite dal corpo vitreo e nel fondo da una serie di membrane, presenti anche ai lati. La camera anteriore è delimitata verso l'esterno dalla cornea, caratteristicamente trasparente, mentre posteriormente è limitata dal cristallino (lente biconvessa) e dalle estroflessioni della corona ciliare. La camera posteriore è di dimensioni più piccole, ed è compresa tra l'iride e le formazioni che vincolano il cristallino alla corona ciliare. Posteriormente si trova il corpo vitreo (o umor vitreo) del bulbo, che costituisce il più vasto mezzo diottrico del bulbo, senza alcuna importanza in relazione alla convergenza.

Le membrane che avvolgono il bulbo sono:

- la retina o superficie altamente differenziata, che contiene le cellule primarie della sensibilità alla luce, i coni e i bastoncelli
- la coroide o uvea, superficie devoluta essenzialmente all'irrigazione vasale del bulbo
- la sclera o sclerotica, che compare anche all'esame esterno dell'occhio, di colore biancastro costante su tutta la superficie dell'occhio, nei suoi 5/6 di superficie disponibile; è di natura fibrosa.

### *I recettori*

All'interno dell'uvea è collocata la retina, che ricopre la superficie interna del bulbo oculare, e che rappresenta la parte fotosensibile, in cui giungono le terminazioni del nervo ottico.

### La retina

E' una membrana sottile, adagiata sulla superficie interna del bulbo oculare. In essa vengono generati i segnali nervosi in risposta allo stimolo visivo. E' formata da elementi nervosi sovrapposti. Dall'esterno verso l'interno sono posizionati

- lo strato di cellule piatte, che danno origine all'epitelio pigmentato
- lo strato dei fotorecettori, costituito da coni e bastoncelli che formano sinapsi con le cellule bipolari dello strato sottostante
- lo strato delle cellule bipolari (cellule amacrine e cellule orizzontali)
- lo strato delle cellule gangliari

La trasformazione del segnale luminoso in segnale bio-elettrico avviene sulla retina e la principale via di trasmissione dei segnali nervosi è la via: fotorecettore- bipolare-gangliare. Nella regione centrale, in prossimità del polo posteriore dell'occhio, la retina presenta una piccola area, la *fovea*, che contiene solo coni e sono assenti i bastoncelli. Questa zona consente la visione dei dettagli fini, cioè la migliore acuità visiva. Al di fuori della fovea vi sono coni e bastoncelli. Questi diventano sempre più numerosi rispetto ai coni verso le regioni periferiche. A seconda dell'individuo vi sono circa 6 milioni di coni e 125 milioni di bastoncelli.

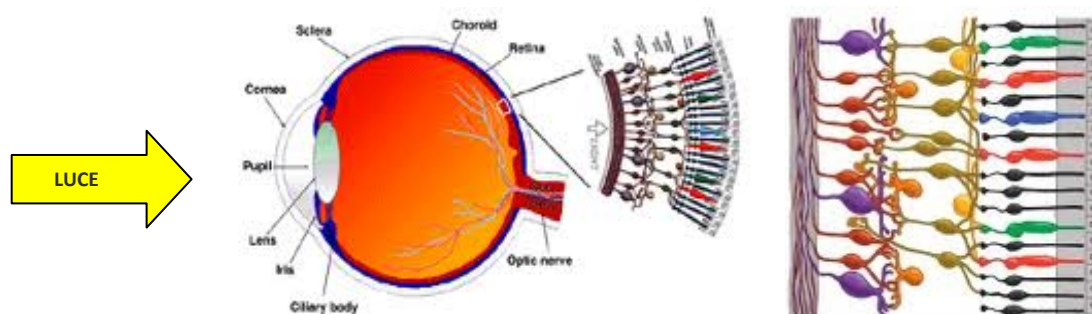


Fig.3.3. La retina: la sua posizione nell'occhio e le sue cellule

Nella parte posteriore dell'occhio, si trovano il nervo ottico (primo segmento delle vie visive comuni) e del tessuto adiposo (che stabilizza la posizione del bulbo all'interno della cavità oculare).

### Gli stimoli visivi

L'intervallo dello spettro ottico, visibile per l'occhio umano, viene chiamato comunemente luce. Le differenti sorgenti di luce, che si trovano nell'ambiente, differiscono per chiarezza e bianchezza, in funzione della quantità d'energia proveniente dalle diverse parti dello spettro. In più, la maggior parte della nostra esperienza visiva riguarda configurazioni luminose complesse; in altre parole noi vediamo configurazioni spaziali definite dalle variazioni della luce nel campo visivo e configurazioni temporali definite dalle variazioni della luce nel tempo. La nostra capacità d'interpretare questi due tipi di configurazioni ha dei limiti.

### Test di Snellen

Il test di Snellen, che misura la capacità di leggere righe di lettere progressivamente più piccole, (che è usato negli ambulatori medici) determina l'acuità visiva, ossia la capacità di discernere dettagli sempre più fini delle configurazioni spaziali della luce. La capacità di



discernere rapide variazioni della luce nel tempo è anch'essa limitata. La visione combinata di entrambi gli occhi, il campo visivo, comprende più di 200 gradi (dei 360 della circonferenza del cerchio che in modo figurato e immaginario circonda l'osservatore). La grandezza di un oggetto che appare nel campo visivo dipende sia dalle sue dimensioni fisiche, sia dalla distanza rispetto all'osservatore. E' utile riferire la grandezza di un oggetto all'ampiezza del campo visivo che esso occupa, in altre parole quanti gradi della circonferenza del cerchio immaginario sono occupati. In questo caso la grandezza dall'oggetto è espressa in gradi d'angolo visivo.

### *I reticoli*

Lo stimolo visivo è una variazione periodica regolare della chiarezza nello spazio. La successione di tali variazioni dà origine ad un reticolo ad onda sinusoidale. Ogni reticolo è definito da due parametri fisici: la frequenza spaziale e il contrasto. La frequenza spaziale è data dal numero di cicli per unità d'angolo fisico, e il contrasto è definito dalla differenza di chiarezza tra la banda più luminosa del ciclo e quella più scura. Inoltre, è necessario considerare altri concetti quali il confine fra le variazioni di chiarezza discernibili da un occhio umano e quelle non visibili. Si tratta di un reticolo la cui frequenza aumenta secondo alcuni andamenti dell'energia luminosa che si possono disporre spazialmente in modo diverso.

### *Le vie visive*

L'informazione proveniente dagli occhi viene trasmessa al cervello mediante le vie visive, dalla retina alla corteccia. I segnali provenienti dalle metà retiniche dell'occhio sinistro, che corrispondono all'emisfero visivo destro, sono trasmessi all'emisfero sinistro, mentre i segnali provenienti dalle metà retiniche dell'occhio destro, che corrispondono all'emisfero visivo sinistro, arrivano all'emisfero destro.

La figura 3.4. mostra lo schema dei percorsi degli impulsi visivi dai due lati delle retine fino alla corteccia dei lobi occipitali. In ciascun occhio la luce proveniente dalla metà temporale del campo visivo cade nella metà nasale della retina; la luce proveniente dalla metà nasale del campo visivo cade nella metà temporale della retina. L'immagine risulta così invertita, come per analoghi motivi di proiezione, risultano capovolte sulla retina la metà inferiore e quella superiore del campo visivo.

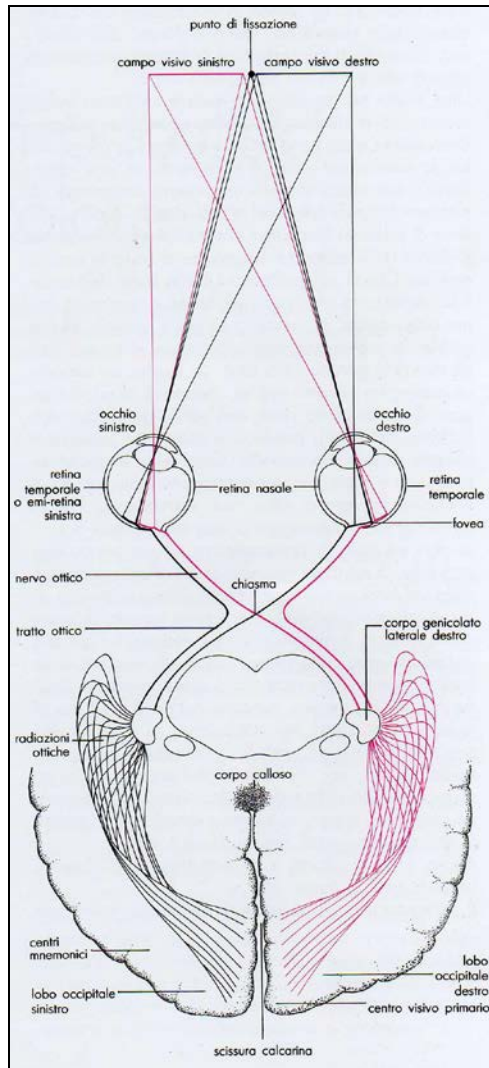


Fig.3.4. Schema del percorso degli impulsi visivi

### Chiasma ottico

I due nervi ottici s'incrociano in un punto noto come chiasma ottico, e le fibre della metà nasale di ciascun nervo confluiscono, nel corpo genicolato laterale, con le fibre della metà temporale dell'altro nervo. Nel corpo genicolato laterale i neuroni si uniscono a nuovi fasci di nervi che trasportano l'informazione alla corteccia striata.

### 3.2. Visione diurna e visione notturna

Coni e bastoncelli hanno diverse funzioni.

I coni sono responsabili della *visione cromatica* e diurna o *fotopica*, cioè quando si hanno elevati livelli di illuminazione. La visione diurna è caratterizzata dalla curva di efficacia luminosa  $V(\lambda)$ .

Questo grafico descrive il variare della sensibilità dell'occhio per radiazioni monocromatiche di diversa lunghezza d'onda, a livelli fotopici. La sensibilità è normalizzata rispetto al suo valore massimo (che si ha per radiazioni di 555 nm) ed è riferita al cosiddetto *osservatore fotopico standard*, come stabilito dalla CIE nel 1924 (figura 3.5.).

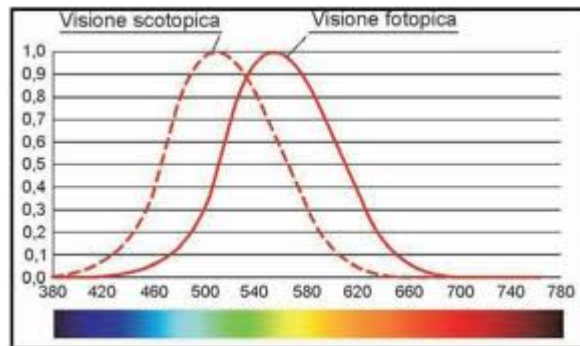


Fig.3.5. Funzioni di efficienza luminosa per la visione scotopica e fotopica normalizzate ai rispettivi massimi di 507 e 555 nm

Questa curva è stata ottenuta da misure eseguite su un gran numero di osservatori.

Ciascun cono presente nella fovea è collegato ad una cellula nervosa: a questa via privilegiata di comunicazione con il cervello si deve la maggiore capacità di discriminazione dei dettagli che è associata con la stimolazione dei coni della fovea.

I bastoncelli, dal canto loro, benché molto più sensibili dei coni alla stimolazione da parte della luce, sono collegati alle cellule nervose solo a gruppi e questo fa sì che l'immagine che essi veicolano sia più confusa. Tuttavia la loro maggiore sensibilità permette all'occhio di vedere anche in condizioni di scarsa luminosità, quando ormai i coni non riescono più a fornire informazioni utili al cervello: quando si entra, ad esempio, nella sala buia di un cinema, dopo un periodo di cecità quasi completa nel corso del quale avviene l'assuefazione degli occhi all'oscurità, entrano progressivamente in funzione i bastoncelli, consentendoci di vedere sufficientemente bene per trovare posto senza problemi. La visione resa possibile dai bastoncelli è una *visione non cromatica*; assume importanza primaria in condizioni di scarsa luminosità ed è detta *scotopica*. Questa è stata definita come *osservatore scotopico standard* dalla CIE nel 1951.

Le due curve presentano una differenza: in visione notturna il massimo della sensibilità è a 507 nm, anziché a 555 nm, dimostrando che la sensibilità scotopica è maggiore nella regione delle corte lunghezze d'onda e minore in quella delle più lunghe. Questa variazione di sensibilità si chiama *Effetto Purkinje*. La visione crepuscolare, detta *visione mesopica*, ha proprietà intermedie tra quella scotopica e fotopica, in quanto in questo caso sono attivi simultaneamente sia i bastoncelli sia i coni.

### 3.3. I fotorecettori

Sono stati individuati due tipi di recettori sensibili alla luce.

In visione notturna non si vedono colori perché a livelli scotopici sono attivi solo i bastoncelli che contengono tutti lo stesso pigmento, la rodopsina o porpora visiva.

La visione cromatica è dovuta ai coni durante la visione diurna.

Esistono 3 tipi differenti di coni, contenenti una sostanza incolore fotodinamica differente per struttura chimica e pertanto, ciascuno ha differente sensibilità alle varie lunghezze d'onda nel campo del visibile.

- CONO L (dall'inglese *long*), sensibile alle onde lunghe, cioè al rosso
- CONO M (dall'inglese *medium*), sensibile alle onde medie, al verde

- CONO S (dall'inglese *short*), sensibile alle onde corte, al blu/ violetto.



Fig.3.6. I tre tipi di coni

I coni L hanno una curva di assorbimento che copre una regione di lunghezza d'onda medie e lunghe nel visibile, con un massimo di assorbimento a circa 560 nm.

La curva di assorbimento dei coni M copre lunghezze d'onda intermedie con un massimo a 530 nm.

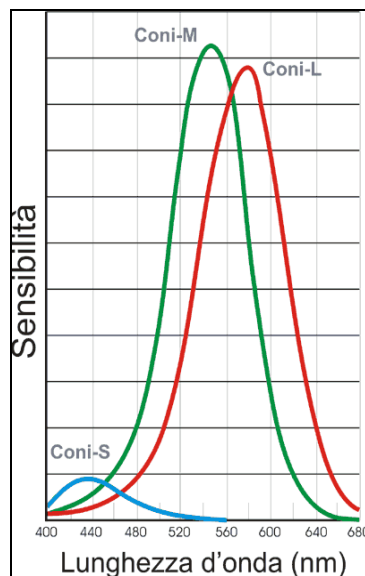


Fig.3.7. Curve di assorbimento della luce da parte dei tre tipi di coni sperimentalmente individuati 1964

I coni S hanno sono sensibili a corte lunghezze d'onda e hanno assorbimento massimo a circa 420 nm

I coni L e M sono molto più numerosi dei coni S, che sono assenti al centro della fovea. I coni S non danno un contributo significativo alla luminosità, dovuta principalmente ai coni M e L, i maggiormente responsabili della curva di sensibilità fotopica, ma hanno un ruolo importante nella visione cromatica.

Quando una molecola di pigmento di un fotorecettore assorbe un fotone, modifica la sua struttura chimica trasformandosi in un altro composto che assorbe meno bene la luce o è sensibile ad una diversa lunghezza d'onda. Questo fenomeno si chiama sbiancamento. Una complessa reazione chimica riporta poi il pigmento alla conformazione originale.

### **La visione cromatica**

Già Newton aveva scoperto che è possibile creare tutti i colori mescolando luci verdi, blu e rosse. Lo scienziato inglese *Thomas Young* (1773-1829), nel 1802, formulò l'ipotesi che, per vedere i colori, siano sufficienti tre tipi di recettori: uno sensibile al blu, uno al verde e uno al rosso. Questa ipotesi, confermata in seguito dal fisiologo tedesco *Hermann von Helmholtz* (1821-1894) è nota attualmente come *teoria di Young-Helmholtz* o *teoria tricromatica*, in cui *i colori rosso, verde e blu sono chiamati colori primari*.

### **3.4. La teoria di Young-Helmholtz o teoria tricromatica**

Questa teoria è basata sulla seguente convinzione degli Autori:

*“La visione dei colori avviene per sintesi additiva e per mescolanza tricromatica delle sensazioni colorate.”*

Questa ipotesi si basa sull'esistenza nella retina di bastoncelli e tre tipi di coni.

Il numero di coni e bastoncelli, variando da persona a persona, spiega il motivo per cui la percezione del colore non è mai identica, ma solo simile tra diversi individui tricromati.

Secondo questa teoria, ogni tipo di cono reagisce tanto più intensamente quanto maggiore è la presenza del colore corrispondente nello stimolo visivo; se lo stimolo contiene energia proveniente da tutte le regioni dello spettro, tutti e tre i tipi di ricettori si attivano e ne consegue la sensazione di bianco, mentre la loro stimolazione differenziata determina la sensazione degli altri colori: se vengono stimolati i ricettori del verde e del rosso, la sensazione che ne consegue è quella di giallo. In pratica, tutti i colori percepiti sono la risultante delle più svariate stimolazioni dei tre tipi di coni. Questo fatto si spiega con un esempio che distingue il funzionamento dell'occhio rispetto a quello dell'orecchio: mentre due suoni non possono fondersi per dare luogo ad un terzo suono (dalla loro unione nasce un accordo di cui sono riconoscibili gli elementi costitutivi), dalla mescolanza di due colori può invece derivare un altro colore che non permette di riconoscere e risalire ai due costituenti iniziali.

Questa teoria non fu accettata da tutti gli studiosi. Nel 1878 *Ewald Hering* (1834-1918) ipotizzò l'esistenza di un quarto tipo di cono sensibile al giallo, del fenomeno di opponenza cromatica e di coppie di colori antagonisti. Da qui il nome della sua teoria sul colore: *Teoria quadricromatica*, detta anche *Teoria delle coppie di colori antagonisti*, accreditata dai risultati ottenuti attraverso il noto *Test dei Colori* di *Max Lüscher*.

Oggi si concorda sulla teoria “a stadi” che ipotizza tre principali tipi di coni sulla retina, ma che riconosce nel corpo genicolato e in altre parti dei centri corticali la presenza di sei tipi di cellule, sulle quali la sollecitazione dello stimolo luminoso produce effetti opposti, relativamente ai colori rosso/verde, blu/giallo e chiaro/scuro. Si tratta di cellule doppio - oppponenti predisposte all'analisi dei colori con caratteristiche di *centro-on* e *centro-off*.

I campi recettivi di queste cellule sono organizzati secondo un modello di risposta centro-on e centro-off consentono una codificazione spaziale e cromatica dello stimolo luminoso.

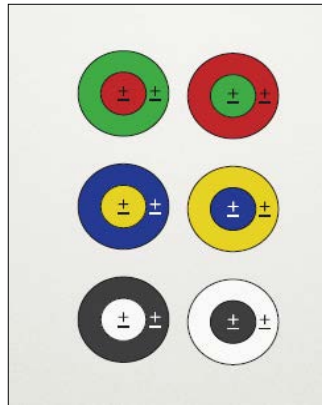


Fig.3.8. Le cellule doppio-opponenti

Queste cellule sono responsabili del *fenomeno di opposenza cromatica*. Significa che certi abbinamenti non possono mai essere percepiti, come *un verde-rossastro e un giallo-bluastro*, mentre sono percepibili il *rosso- bluastro* (magenta) , il *giallo- rossastro* (arancione) e il *verde- bluastro* (viola) (Hering, 1874).

Questi *centri- on e -off* , insieme alle cellule dei corpi genicolati laterali, sono responsabili del fenomeno dell' *immagine simultanea* (detta anche *Afterimage, immagine postuma, contrasto cromatico simultaneo*) e della *costanza del colore* (secondo la Teoria quadricromatica di Hering).

Inoltre esistono centri che analizzano anche diverse proprietà, quali inclinazione, movimento, forti contrasti, etc.

Con l'avanzare dell'età inoltre l'occhio, forse per l'ingiallimento senile della cornea, diventa meno sensibile a percepire alcuni colori come il viola. I limiti dello spettro visibile pertanto, fissati inizialmente a lunghezze d'onda da 380 nm nella regione dell'ultravioletto, sino a 760 nm dell'infrarosso, subirono variazioni nel corso del tempo a seguito di ulteriori ricerche, che spostarono il limite dello spettro visibile tra 376 e 788 nm rispettivamente.

### 3.5. Differenza fisiologica tra il sistema uditivo e quello visivo

E' Hermann von Helmholtz (1821-1894), professore di fisiologia, anatomia e fisica già all'età di 28 anni presso diverse università tedesche, a cui si deve la scoperta che quando due o più stimoli arrivano contemporaneamente, o quasi, in un singolo punto della retina, l'osservatore non è in grado di riconoscere individualmente il contributo dei singoli stimoli. Una simile fusione non avviene invece nel sistema uditivo, in cui due o più stimoli generano una sensazione complessiva di armonia o disarmonia, ma ogni singolo stimolo genera anche una sensazione individualmente riconoscibile. Questa sintesi di stimoli nel sistema visivo è un fenomeno fisiologico soggettivo, che deve essere distinto dai fenomeni oggettivi che avvengono nel dominio della fisica. Questo è il motivo per cui lo studio del sistema visivo, e quindi della percezione cromatica, deve essere basato sulla sintesi degli stimoli e non sui fenomeni oggettivi della fisica.

### 3.6. Anomalie della visione

Il tricromata è un individuo che possiede tre coni.

Le anomalie della visione sono di due tipi

- anomalie di riproduzione della geometria dell'immagine
- anomalie di riproduzione del colore dell'immagine

#### *Le anomalie geometriche*

Sono la brachimetropia, la miopia, l'ipermetropia, la presbiopia, l'astigmatismo, e lo strabismo.

Possono essere dovute o a una curvatura difettosa del cristallino, ai liquidi dell'occhio troppo o troppo poco rifrangenti, alla forma non perfettamente sferica della cornea o a imperfezioni dei muscoli degli occhi.

#### *Le anomalie di riproduzione del colore dell'immagine*

Un individuo che vede bene e sa distinguere tutti i colori è un tricromata.

Le anomalie della visione colorata sono solitamente congenite e questo rafforzerebbe l'ipotesi delle tre specie di ricettori.

Esiste la visione monocromatica in cui l'individuo non distingue le tinte, ma solo le variazioni di intensità. Pertanto per lui un rosso e un grigio sono uguali se hanno la stessa luminosità. In pratica queste persone vedono soltanto in termini di bianco e nero.

Si parla di tricromia anomala quando la visione del colore risulta in qualche modo difettosa. L'anomalia consiste nella difficoltà di distinguere due colori che solitamente appaiono molto diversi. L'anomalia più frequente è il *daltonismo*. L'occhio daltonico è bicromatico perché privo di uno dei tre ricettori della visione colorata. La scienza è riuscita a fare luce sul perché il daltonismo (clinico) colpisce quasi esclusivamente i maschi: è una deficienza legata al cromosoma Y. Se è sostituito il ricettore per il rosso si ha la protanopia, se è sostituito quello del verde si ha la deuteranopia, se è sostituito quello del blu-violetto si ha la tritanopia. In queste anomalie è alterata la sensibilità verso le radiazioni di determinate lunghezze d'onda, per cui chi soffre di protanopia non distingue il rosso che vede o molto più scuro, o marrone o giallo grigio. Nella deuteranopia il verde appare giallo o giallo-grigio, il rosso e l'arancio pure. I deuteranopi vedono bene solo il giallo e il blu. La tritanopia, alquanto rara, determina la difficoltà di percepire il blu., in quanto il limite dello spettro è accorciato dalla parte sinistra. L'acromatopsia consiste nel non distinguere alcun colore o per mancanza delle sostanze recettrici nei coni o per la presenza di una miscela delle tre sostanze sensibili in ogni cono oppure per incapacità dei coni a reagire, mentre persiste l'attività dei soli bastoncelli. Le persone che soffrono di questa anomalia vedono solo variazioni di grigio, quindi in pratica bianco e nero.

### **3.7. Proprietà del colore e suoi parametri**

Per descrivere le sensazioni sui colori i ricercatori impiegano tre parametri: la tinta, la luminosità, la saturazione. Con l'aumento dell'energia, lo stimolo appare più luminoso.

Man mano che la lunghezza d'onda si sposta lungo lo spettro visivo (da 400 a 760 nm), l'occhio umano vede tinte differenti (dal violetto al rosso).

Ad ogni tonalità corrisponde una lunghezza d'onda (vale a dire una data frequenza della radiazione). La chiarezza dipende dall'ampiezza dell'onda (in pratica dall'intensità dell'energia luminosa). La saturazione è determinata dalla composizione spettrale (in altre parole dalla maggiore o minore purezza della radiazione).

*I tre parametri del colore.*



Tutte le relazioni tra colori si basano sulle infinite combinazioni possibili di 3 elementi misurabili con le leggi della Colorimetria sono:

- tinta ( tono o colore, ingl. *hue*)
- luminosità (brillanza, ingl. *brightness*)
- saturazione (ingl. *saturation*)

*La tinta*, principale attributo percettivo del colore, è quella caratteristica del colore che si indica con i nomi rosso, giallo, verde, blu, viola, arancio, e così via. In pratica è quello che, nel linguaggio comune, si chiama comunemente colore. Con la parola “rosso”, comunichiamo agli altri l’idea di una determinata tinta; Il rosso poi può essere più o meno chiaro, caldo o freddo, ma è pur sempre rosso.

Una tinta non è quindi un colore, ma una famiglia di colori. Dicendo rosso non s’intende un rosso particolare, ma l’intera famiglia dei rossi. Pertanto il rosso e il rosa, che è un rosso contenente molto bianco, quindi schiarito, fanno parte della stessa famiglia, hanno quindi la stessa tinta.

Non tutti i colori difatti hanno una tinta: il bianco e il nero, e varie gradazioni del grigio, vengono detti *colori acromatici*, in quanto privi di croma. I colori cromatici sono quelli che hanno una tinta (eventualmente ottenuta con la mescolanza di bianco, nero e grigio).

Questo parametro classifica quindi in *colori in acromatici/cromatici*.

*La luminosità* è l’attributo percettivo assoluto del colore che si riferisce alla misura di quanto un’area appare luminosa, sia per luci che per oggetti, ma isolati dal contesto. Spesso viene usato anche il termine chiarezza, suo sinonimo nel linguaggio comune. Corrisponde al grado di chiarezza o scurezza di una tinta.

Nel linguaggio comune questo termine indica se un colore è chiaro (elevata luminosità, elevata chiarezza) o scuro (bassa luminosità, bassa chiarezza).

Questo parametro classifica quindi i colori in *chiari/scuri*.

*La saturazione* corrisponde al grado di luminosità e di purezza di una tinta.

Se si osserva un colore cromatico se ne percepisce una componente di acromatica (che corrisponde al grado di luminosità) e una componente cromatica (che corrisponde al grado di purezza di tinta). La *saturazione* (ingl. *saturation*) descrive la pienezza di un’area in proporzione alla brillantezza del colore dell’oggetto stesso, prodotta dalla sua componente acromatica e cromatica. Quando un colore è saturo si dice che è brillante, vivo, acceso, pieno, carico. Quando invece è desaturato si parla di un colore *soft*, morbido, polveroso, spento.

La saturazione descrive quella che nel linguaggio comune si chiama ricchezza o pienezza del colore o brillantezza.

Questo parametro classifica quindi i colori in *saturo/desaturati (o soft)*.

In realtà, per esprimere in modo completo questo concetto, sono necessari altri 2 termini:

La *pienezza o cromaticità* (ingl. *colorfulness, chromaticness*) descrive la quantità assoluta della parte cromatica percepita. Si riferisce sia alle luci sia agli oggetti ed esprime la concentrazione della componente bianca.

Esempio: Rosso e rosa: stessa tinta ma il rosso ha una pienezza maggiore del rosa.

Variando il livello di illuminazione a cui l’occhio di un osservatore è adattato, variano sia la brillantezza sia la pienezza di un oggetto. Le pienezze relative sono di due tipi:

La *chroma* o *croma* (ingl. *chroma*) rappresenta la pienezza di un'area in proporzione alla brillantezza di un oggetto similmente illuminato che appare bianco (o molto trasmittente in caso di oggetti trasparenti).

L'occhio dell'uomo è in grado di distinguere circa 200-300 tinte.

Ma solo quattro tra queste non vengono recepite come mescolanze di altre tinte: sono le tinte unarie: il rosso, il giallo, il verde e il blu.

Ma a livello di linguaggio, quindi di comunicazione verbale, l'uomo utilizza, per esprimere il concetto colore, solo una decina termini di base universali. Una ricerca famosa difatti, condotta nel 1969 da *Berlin* e *Kay* nel 1969 sui termini indicanti i colori in novantotto lingue diverse, ha portato alla conclusione che per quanto riguarda il colore non ci sono più di undici termini di base universali in ogni lingua. Tutti i linguaggi hanno almeno due termini per indicare il bianco e il nero. Il terzo termine, se esiste, è sempre il rosso. Se ne esistono quattro o viene aggiunto il verde o il giallo. Gli uomini di tutto il mondo quindi, tendono a nominare per primo le tinte unarie. Le tinte non unarie, binarie, vengono percepite come mescolanza di due tinte unarie. L'arancione, ad esempio, viene recepito come la mescolanza di rosso e giallo.

## **Allegato 10 – capitolo 4. La percezione cromatica**

La percezione è definita come il processo psichico che opera la sintesi dei dati sensoriali in forme dotate di significato.

La psicologia studia i meccanismi e gli eventi mentali. Un'importante classe di eventi mentali è quella relativa alla percezione, in particolare alla percezione visiva.

### **4.1. Il meccanismo della percezione**

Mentre la sensazione è il processo elementare mediante il quale il nostro organismo riceve energia fisica dall'ambiente esterno e risulta essere quindi un processo passivo che avviene nel nostro organo di senso, come l'occhio, e non presuppone il coinvolgimento cosciente, diverso è invece il meccanismo della percezione.

La percezione è il processo evoluto mediante il quale viene organizzata e interpretata la sensazione: è un processo attivo che avviene nel cervello e che riferisce la sensazione all'oggetto esterno, coinvolgendo anche l'esperienza.

La formazione della percezione del colore avviene in tre fasi:

#### *Fase 1*

Un flusso di fotoni (stimolo visivo) arriva all'occhio, attraversa cornea, umore acqueo, pupilla, cristallino, umore vitreo e raggiunge i fotorecettori della retina (bastoncelli e coni), dai quali viene assorbito. Come risultato dell'assorbimento i fotorecettori generano (in un processo detto trasduzione) tre segnali nervosi, che sono segnali elettrici in modulazione di ampiezza.

Questo flusso di fotoni può

- arrivare direttamente all'occhio oppure
- essere riflesso da un corpo che ne assorbe alcuni e ne riflette altri
- essere trasmesso da un corpo trasparente che ne assorbe alcuni e riflette altri

In ogni caso i fotoni che giungono all'occhio costituiscono lo stimolo di colore.

Ogni singolo fotone attraversa la cornea, l'umore acqueo, la pupilla, il cristallino, l'umore vitreo e raggiunge uno dei fotorecettori della retina (un bastoncello, oppure un cono L, un cono M o un cono S).

#### *Fase 2*

I fotorecettori retinici possono assorbire o non assorbire il singolo fotone. La probabilità che un tipo di fotorecettore assorba un fotone dipende dal tipo di fotorecettore e dalla frequenza del fotone.

Come risultato dell'assorbimento ogni fotorecettore genera un segnale elettrico in modulazione di ampiezza, proporzionale al numero di fotoni assorbiti. Gli esperimenti mostrano che i segnali generati dai tre coni L, M e S sono direttamente collegati con la sensazione di colore, e sono detti *segnali di tristimolo*. I segnali di tristimolo vengono elaborati e compressi con modalità non ancora completamente note. Questa elaborazione avviene nelle altre cellule della retina (cellule orizzontali, bipolari e gangliari) e termina con la generazione di altri tre segnali elettrici, questa volta in modulazione di frequenza, che sono chiamati segnali opponenti e vengono trasmessi al cervello lungo il nervo ottico.

#### *Fase 3*

I segnali elettrici opponenti lungo i due nervi ottici (che sono costituiti dagli assoni delle cellule gangliari) raggiungono il cervello e arrivano nei cosiddetti corpi genicolati laterali, che

costituiscono una stazione intermedia per i segnali, che da qui vengono proiettati in apposite aree della corteccia cerebrale, detta corteccia visiva, dove nasce la percezione del colore.

Qualsiasi stimolo, visivo e acustico, per essere percepito dal corpo umano attraverso gli organi di senso preposti, deve avere un mezzo di propagazione che lo trasporta dalla sorgente emittente sino al corrispondente organo di senso. Sulla terra sia per lo stimolo luminoso sia per quello acustico il mezzo di trasporto è l'aria.

Per questo motivo, nello spazio extraterrestre, fuori dall'atmosfera, regna il buio completo, anche se attorno c'è luce, e non è quindi possibile percepire né luce né colori.

Mentre i fenomeni che avvengono a livello della retina sono ormai noti, nessuno scienziato sino a oggi è riuscito a spiegare che cosa e come vede l'essere umano.

I progressi nella comprensione di tale fenomeno sono stati fatti non dalla fisica o dalla medicina, bensì da biologi e neurofisiologi.

In effetti il meccanismo della percezione visiva è molto complesso.

L'insieme di sensazioni che prende il nome di percezione visiva ha luogo in diverse parti della corteccia cerebrale (circa dodici diverse aree mappate), ma, come illustrato prima, chi invia questo messaggio elettrochimico al cervello è l'attivazione integrata delle cellule gangliari, delle cellule bipolari, dei bastoncelli e coni che fanno della retina dell'occhio umano delle vere e proprie appendici cerebrali.

Si potrebbe affermare che vedere = pensare, in quanto parti del cervello umano si occupano di sezionare le differenti impressioni e le sollecitazioni per poi elaborarle e ricomporle in un quadro unitario. La ricerca ha scoperto che ci sono moltissime cose che l'occhio dell'uomo, semplicemente, non è in grado di vedere, rispetto agli apparati visivi di altri animali, come ad esempio le api, che riescono a percepire la luce ultravioletta.

E' vero che esseri viventi diversi percepiscono in modo diverso: è anche vero che vedere la stessa cosa non significa viverla nello stesso modo. Di conseguenza è possibile pensare che alcune cose vengano recepite solo da alcuni individui.

Questo è il motivo per cui si parla anche di psicologia dei colori.

In effetti gli studi sulla percezione cromatica iniziano nei primi anni del 1900, ai tempi in cui si inizia ad indagare sulla psiche umana. E' difatti in quel periodo che nasce la *psicoanalisi* con Sigmund Freud ( 1856-1939).

#### **4.2. I sensi**

Dei sette sensi (tatto, gusto, odorato, vista, udito, propiocezione, equilibrio), solo cinque vengono citati normalmente perché sono quelli che ci permettono di interagire col mondo che ci circonda.

Il 70% della percezione del mondo esterno avviene attraverso la vista.

La *sensazione visiva* è legata agli effetti immediati del contatto dei recettori sensoriali con i segnali provenienti dall'esterno ed è in grado di suscitare una risposta.

La *sensazione cromatica* è una rappresentazione *della nostra mente* ad uno stimolo visivo. Nasce più precisamente dall'interazione di tre componenti: la sorgente luminosa, l'oggetto illuminato e il sistema visivo dell'osservatore, in particolare dalla curva spettrale della fonte

luminosa, dalla curva di riflessione dell'oggetto e dal sistema visivo umano sensibile solo alla luce nel visibile, quindi solo a lunghezze d'onda tra i 380 e 680 nm.

*La percezione visiva cromatica* corrisponde all'organizzazione dei dati sensoriali in un'esperienza complessa, cioè al prodotto finale di elaborazione dell'informazione sensoriale da parte dell'intero organismo.

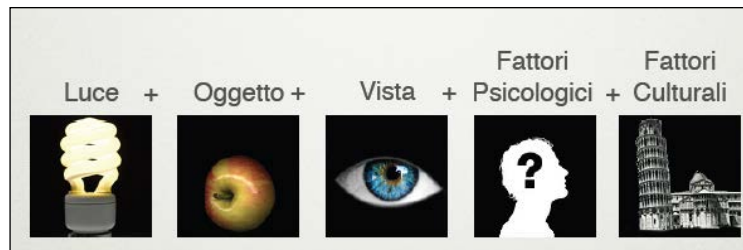


Fig.4.1. Gli ingredienti della percezione visiva (fonte NCS Italia)

In effetti i colori si originano tramite la percezione che l'uomo ha di essi, non esistono quindi indipendentemente da essa.

Nella natura non esistono quindi i colori, ma soltanto luce e materia. E' l'occhio dell'osservatore a unire questi due elementi e a tradurli in un'unica informazione di carattere cromatico. L'occhio umano registrando i raggi di luce riflessi dalle superfici degli oggetti e corpi e traducendoli in un codice cromatico, è in grado di riconoscere in questo modo il colore dell'oggetto e il materiale di cui sono fatti. La percezione del colore non è svincolabile quindi né dal soggetto né dalla sua percezione. Allo scopo però di spiegarsi e farsi capire dai suoi simili, l'uomo ha cercato di descrivere questo fenomeno percettivo e di tradurlo in parole con l'aiuto del linguaggio, dando dei nomi alle informazioni cromatiche provenienti dal mondo circostante.

- La famiglia dei rossi/arancioni  
Le radiazioni elettromagnetiche dello spettro visibile di bassa frequenza riflesse da un corpo illuminato provocano sensazioni cerebrali alle quali l'uomo ha dato il nome di rosso e arancione, due grandi famiglie di colori (a seconda delle specifiche lunghezze d'onda).
- La famiglia dei blu/violetti  
Le radiazioni elettromagnetiche visibili di alta frequenza riflesse da un corpo procurano sensazioni cerebrali alle quali si è dato i nomi di azzurro, blu e violetto.
- La famiglia dei gialli/verdi  
Alle sensazioni cerebrali dovute a radiazioni elettromagnetiche visibili di media frequenza è stato dato il nome di giallo e verde, dove la parte corrispondente al punto mediano di percezione visiva tra il rosso e il violetto corrisponde ad un verde-giallo (intorno ai 530 nm).

L'occhio umano si lascia ingannare: ciò che vede non corrisponde spesso alla realtà, perché l'uomo si porta dietro un retaggio millenario fatto di automatismi, di complicati processi cerebrali e di limitatezza umana.

Analizzando ciò che conosce, è abituato a mettere in relazione i dati raccolti, ma salta a piè pari ed è ciò che mette in crisi il suo consueto iter percettivo.

Tale automatismo cromatico (si parla di *sinestesia*, concetto ripreso nella definizione della *Gestalt* nella *Teoria della Gestalt*) pare essere legato alla evoluzione della specie. Il premio Nobel *David H. Hubel*, professore di neurobiologia alla *Harvard Medical School*, pensa che, “*Tra i vertebrati, la sensibilità ai colori, è appannaggio di singoli gruppi: probabilmente nel corso dell’evoluzione si è verificata più volte una selezione oppure è andata persa per poi riaffiorare*”.

L’occhio umano riesce difatti a distinguere moltissime gradazioni di colore, per ogni famiglia di tinta.

È in grado però di individuare più gradazioni di giallo e verde di quanto ne riesca a percepire nei blu, nei rossi e nei colori extraspettrali, vale a dire viola, porpora, magenta.

Sembra che la specie umana quindi abbia davvero sviluppato la percezione dei colori per potere riconoscere i diversi toni di verde delle piante e capire più facilmente il grado di maturità dei frutti. La sua competenza cromatica è molto evoluta proprio per le tonalità del giallo- arancione e del verde.

Ecco quindi che l’automatismo cromatico corre in aiuto all’uomo per garantirgli tale capacità anche indipendentemente dall’ora del giorno e dall’intensità della fonte luminosa. Che il sole sia alto allo zenit oppure basso all’orizzonte al momento del tramonto, per l’uomo il giallo di una banana o il verde di un fico sono comunque sempre ugualmente visibili. Si parla di *costanza cromatica*, fenomeno per cui il cervello umano elimina molte delle informazioni inerenti il colore della luce (Hering, 1874). Difatti l’occhio umano non ha dubbi sull’attribuire un colore ad un oggetto, anche in condizioni luminose tra loro molto diverse.

Ciò gli ha garantito non solo di potersi nutrire, ma individuare anche i frutti buoni da quelli deteriorati o velenosi, gli ha permesso inoltre di riconoscere l’alternarsi delle stagioni alle variazioni cromatiche dei frutti e del verde delle foglie circostanti per potersi preparare per tempo, con ripari e scorte di cibo adeguati, al rigore invernale. In pratica la costanza cromatica, questa competenza cromatica e anche la sua particolare selettività nei confronti delle tonalità del giallo e verde hanno consentito all’uomo la sopravvivenza e la sua moltiplicazione sulla terra.

Il nostro vissuto -tutti gli stimoli cromatici percepiti dal mondo esterno sono strettamente collegati al nostro mondo interno- al nostro *io* e alle nostre esperienze più intime, all’ambiente in cui viviamo, alle nostre abitudini, tradizioni, usi e costumi e religioni che conferiscono ad ogni colore un valore diverso da individuo ad individuo, da società a società. Tuttavia parecchi studiosi, come *Mahnke* (1987) affermano, che sussiste un’omogeneità dei risultati sorprendente su studi condotti sulle preferenze per un dato colore, sull’associazione di un colore ad uno stato d’animo, o sulle associazioni legate al colore, indipendentemente dalle singole culture ed individui.

Il primo a trovare una scala di gradimento del colore che definì “universale” fu *Eysenck* nel 1941, che affermava che, tra gli adulti occidentali, il colore più amato era il blu e il meno amato l’arancione.

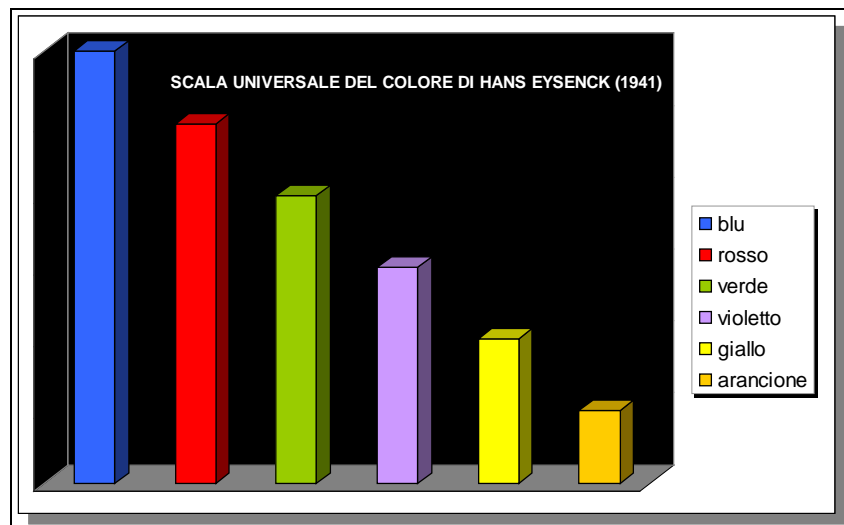


Fig.4.2. La Scala Universale di gradimento dei colori secondo H. Eysenck, 1941

Molti test sono stati effettuati successivamente, sia da parte dell'Autore stesso, sia da parte di altri, come *Tom Porter (School of Architecture, Oxford Brookes University)*, che hanno portato a risultati identici o simili. Tom Porter ha realizzato diversi studi sui colori in diversi ambiti, dall'architettura, all'imballaggio, alle pitture e vernici, ai coloranti per compresse di aziende farmaceutiche sino ai beni di consumo.

Ela popolarità del blu emerge sempre, oltre che nei prodotti di largo consumo come automobili o cravatte (*Tom Porter, Tie Rack*), anche in prodotti particolari, come pure si conferma sempre l'impopolarità dell'arancione, confermando così la scala di Eysenck.

Un test, finalizzato a individuare i colori preferiti, che comprendeva svariati prodotti e diversi contesti, condotto da Tom Porter nel 1979, dimostrò la popolarità dello *Smartie* blu.

Una prova efficace è costituita dal fatto che questo ordine di gradimento venga seguito anche dalle scimmie "*Rhesus*", scoperta che ha indotto il suo autore, *Nicholas Humphrey*, zoologo alla *Cambridge University*, a pensare che questa scala colore abbia una base biologica.

#### 4.3. Gli effetti percettivi del colore

Secondo la teoria tricromatica la visione dei colori dipende dall'azione combinata di tre tipi di coni, diversamente eccitati dalle onde elettromagnetiche che compongono la luce.

##### **La sintesi additiva**

È possibile sperimentare che una opportuna mescolanza di radiazioni di diversa lunghezza d'onda produce la visione del bianco: è, tale risultato, l'opposto di ciò che accade nella scomposizione della luce bianca solare nei colori dello spettro visibile ad opera di un prisma. Il fatto che luci di differente lunghezza d'onda, le quali, viste singolarmente, ci appaiono ciascuna colorata in modo diverso, generino – sommate insieme – la visione del bianco, è un fenomeno che viene definito sintesi o mescolanza additiva. La visione del bianco può essere considerata come la controparte percettiva della somma di tutte le radiazioni che compongono lo spettro visibile.



Ai fini della creazione di un sistema affidabile per la generazione di colori ottenuti miscelando luci colorate, si ricorre solitamente all'uso di tre colori-base, che sono definiti primari. I primari utilizzati oggi nei televisori, nei monitor dei computer e nei sistemi di grafica digitale sono il rosso, il verde e il blu.

È interessante notare, però, che la terna dei cosiddetti colori primari è una scelta arbitraria dell'uomo, che non ha giustificazioni nella fisica o nella fisiologia dell'occhio. Una terna di colori primari, cioè, non esiste in natura. I tre tipi di coni presenti sulla retina hanno, ad esempio, il loro picco di sensibilità intorno alle frequenze del blu-violetto del verde e del giallo-verde, non in corrispondenza del rosso, del verde e del blu, e vengono stimolati tutti e tre (sia pure in modo diseguale), o almeno due su tre, dalla maggior parte delle frequenze visibili, a causa della relativa sovrapposizione della curva di sensibilità di ciascuno di essi.

Ciò che ha radici nella fisiologia della visione è piuttosto: 1) il fatto che tre è il numero minimo di luci colorate che è necessario mescolare per ottenere una gamma di colori più o meno paragonabile alla ricchezza cromatica dello spettro visibile; 2) che il rosso, il verde e il blu sono colori prodotti da una forte eccitazione di uno solo dei tre tipi di coni e da una scarsa stimolazione degli altri due tipi, cosa che si accorda con la necessità di far corrispondere ai colori primari tre fonti di stimolazione luminosa il più possibile indipendenti l'una dall'altra e in grado, combinate tra loro, di provocare la massima eccitazione di tutti e tre i tipi di coni, fenomeno quest'ultimo che produce appunto la visione del bianco. La scelta di questi tre primari si paga però con il fatto che mescolanze uguali di rosso, di verde e di blu non producono esattamente il bianco, ma una sfumatura tendente al giallo: occorre aggiungere del blu al rosso primario – o aumentare la luminosità del blu - per ottenere il bianco.

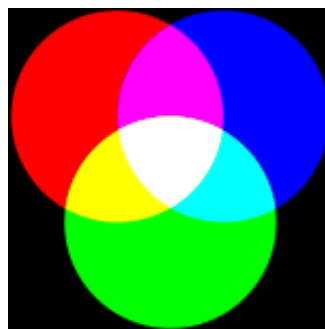


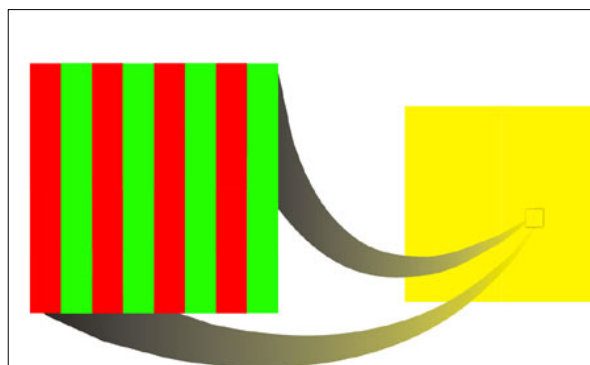
Fig.4.3. La sintesi additiva

Nella figura precedente è rappresentato lo schema classico della sintesi additiva. È l'effetto che si ottiene sovrapponendo tra loro tre raggi luminosi: uno verde, uno rosso ed uno blu, opportunamente corretti in partenza nel modo poco sopra descritto. Un simile esperimento si può realizzare facilmente, usando tre sorgenti di luce bianca, ciascuna schermata con un filtro di uno dei tre colori qui considerati primari, e proiettando i tre raggi su una superficie neutra. Come si può vedere, al centro, dove i tre raggi si sovrappongono, appare il bianco. Dove, invece, si sovrappongono solo la luce rossa e quella verde, vediamo il *giallo*, in accordo con quanto spiegato in precedenza, nei paragrafi dedicati alle funzionalità recettive dei coni. Nella zona di sovrapposizione tra verde e blu, il colore percepito è il *ciano* (un celeste luminoso e molto saturo). Infine, là dove di mescolano il rosso e il blu, il colore percepito è il *magenta* (un rosso violaceo molto saturo).

Il tipo di mescolanza additiva mostrata è detto *spaziale*, perché l'effetto è prodotto dalla sovrapposizione di luci su una stessa porzione di spazio. Esistono però altri due tipi di sintesi additiva: la media spaziale e la media temporale.

La sintesi per *media spaziale* avviene quando delle luci di colore differente, molto ravvicinate tra loro, sono viste dall'occhio ad una distanza tale per cui non è più possibile scorgere le singole componenti: al loro posto appare invece un'unica macchia di colore. È questo appunto il principio adoperato da monitor e televisori, nei quali ogni punto visibile dello schermo è costituito da tre *fosfori* (elementi fotosensibili) molto ravvicinati tra loro, uno attivo nelle gradazioni del rosso, uno in quelle del blu ed uno in quelle del verde: l'occhio interpreta la loro vicinanza come un'unica stimolazione-somma, in grado di produrre la visione dei colori secondo le regole della mescolanza additiva, che è il meccanismo naturale di funzionamento dei nostri recettori della retina.

L'esempio nella figura seguente mostra una sintesi additiva per media spaziale: il quadrato giallo-verde sulla destra è l'unione di molte migliaia di semiquadrati rossi e verdi, come quelli, molto ingranditi, accostati nel quadrato sulla sinistra dell'immagine: i recettori della retina non sono in grado di separare le singole componenti di rosso e di verde quando esse sono molto piccole e ravvicinate, per cui vediamo un unico colore-somma che è l'effetto della loro mescolanza additiva.



*Fig.4.4. La sintesi additiva per media spaziale. Una serie di bande rosso-verdi, viste ad opportuna distanza, appaiono come una superficie uniformemente gialla*

Il terzo ed ultimo tipo di sintesi additiva avviene per *media temporale*. Esso si ottiene quando luci che ci appaiono di colore differente colpiscono lo stesso punto della retina in rapida successione (almeno 50 o 60 volte al secondo): quando il ritmo del loro alternarsi è sufficientemente elevato, i recettori della retina non sono più in grado di discriminare tra due sensazioni successive, che vengono quindi fuse nella percezione psicologica di un unico colore-somma.

Nella figura che segue viene mostrato un esempio di sintesi additiva per media temporale: il disco rosso-verde (a sinistra), posto in rapida rotazione, viene percepito dall'osservatore come un disco di colore giallo uniforme (a destra).

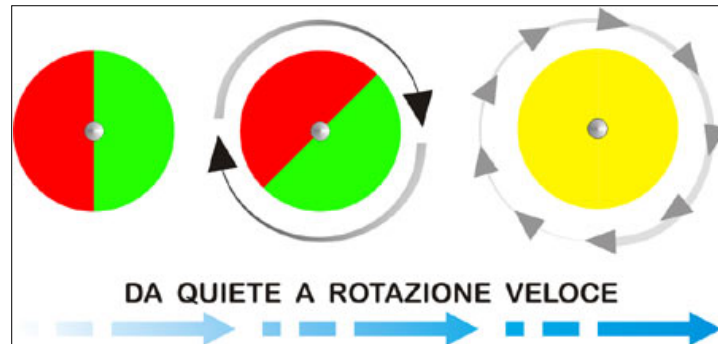


Fig.4.5. Esempio di sintesi additiva effettuata per media temporale

### La sintesi sottrattiva

Ai fini della determinazione del colore da parte di un osservatore umano, l'elemento principale da tenere presente in questo caso è la *curva di riflessione* propria della superficie interposta. Il colore visibile di una qualsiasi superficie dipende infatti dal potere di quella superficie di assorbire una parte della luce ricevuta dall'ambiente e di rimandarne verso l'osservatore la parte non assorbita sotto forma di luce riflessa.

In situazioni prive di informazioni contestuali il colore della luce riflessa verso l'osservatore varierà in funzione del variare delle caratteristiche di intensità e colore della luce emessa dalla sorgente. Tuttavia, il potere riflettente di una superficie, definito per mezzo di una curva di riflessione, è un'informazione che permette di prevedere in certa misura il colore finale percepito dall'osservatore (assunta come sorgente di illuminazione una luce bianca di media intensità, contenente al suo interno l'intera gamma delle lunghezze d'onda dello spettro visibile).

Una curva di riflessione è sostanzialmente una funzione matematica che definisce il grado combinato di eccitazione dei tre tipi di coni della retina. Questa curva può essere tradotta, come mostra il grafico nella figura che segue, in un diagramma diviso in tre parti, che riporta il grado di eccitazione relativo a ciascun tipo di coni: nel caso illustrato, il colore percepito sarà un verde tendente al giallo (la maggiore stimolazione è nell'area sensibile al verde e, in minor misura, nell'area sensibile al rosso).

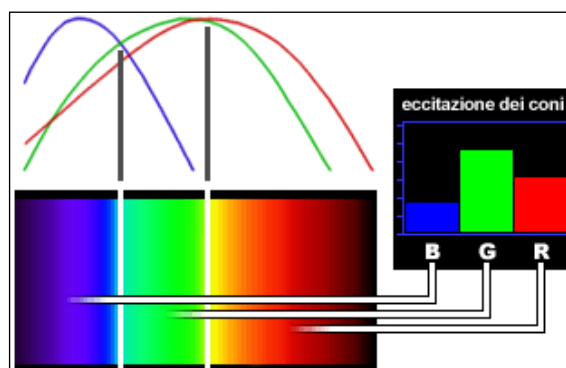


Fig.4.6. Una curva di riflessione è una funzione che rappresenta l'effetto combinato della stimolazione dei tre tipi di coni da parte della luce riflessa da una superficie

La comprensione delle curve di riflessione è il presupposto per capire il motivo per cui una superficie illuminata ci appare, ad esempio, gialla. Vediamo dunque cosa accade, partendo

dalle radiazioni emesse da una sorgente di luce bianca. Come abbiamo avuto modo di spiegare parlando dei colori primari, la luce bianca può essere descritta come la combinazione di una luce verde, di una luce rossa e di una luce blu di opportuna frequenza.

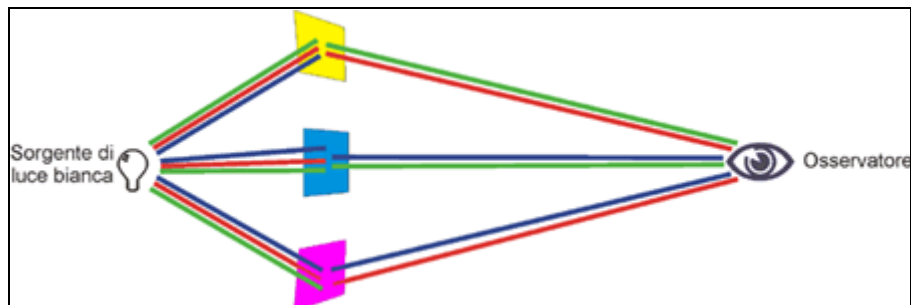


Fig.4.7. Una superficie colorata assorbe una parte della luce visibile e restituisce il resto all'ambiente sotto forma di luce riflessa

Si prende l'esempio in figura 4.7. a partire dalla superficie gialla in alto. Se una superficie illuminata da una luce bianca appare gialla, ciò accade perché quella superficie ha una curva di riflessione tale da *assorbire la radiazione nello spettro del blu*, proveniente dalla luce bianca, e da riflettere verso l'osservatore solo le radiazioni appartenenti allo spettro del verde e del rosso. Queste ultime, combinandosi sulla retina secondo le regole già descritte della *sintesi additiva*, producono la percezione del giallo.

La superficie color ciano (quella al centro) appare tale, perché assorbe le onde nella frequenza del rosso- nel grafico il raggio luminoso rosso è bloccato appunto dalla superficie color ciano- e rimanda verso l'osservatore le onde nella frequenza del blu e del verde, le quali, combinandosi sulla retina, producono la percezione del ciano. Infine la superficie color magenta (quella in basso) appare tale perché assorbe le radiazioni nella frequenza del verde e riflette le radiazioni nella frequenza del blu e del rosso, che agiscono sulla retina producendo la sensazione del magenta.

Come si evince da questi esempi, anche la visione dei colori determinati dalla riflessione della luce da parte di superfici sottostà alle regole della sintesi additiva, una volta che le luci riflesse abbiano colpito la retina.

Tuttavia, se consideriamo il fenomeno non dalla parte della radiazione riflessa, ma da quella della radiazione assorbita, dobbiamo convenire che le superfici che ci appaiono colorate *sottraggono* alla nostra visione una parte dello spettro visibile. Sorge quindi il problema, di massima importanza nel campo della pittura e della stampa, di quale effetto produca sulla visione dei colori la combinazione delle proprietà riflettenti (cioè della capacità di assorbire parte della luce) proprie di superfici differenti.

È chiaro che questo discorso non si applica a superfici completamente opache, come legno, metallo, plastica, etc., le quali finiscono con il nascondere completamente la superficie che ricoprono, ma si applica piuttosto a quei pigmenti – colori, tinte, vernici – che, stemperati, mescolati o diluiti su superfici neutre come la tela o il cartone, combinano le reciproche proprietà riflettenti, producendo nell'osservatore la visione di nuovi colori.

Che colore si vede, dunque, quando si mescolando su una superficie neutra del *giallo* e del *magenta*? Prima ancora che attraverso la prova pratica, realizzata ad esempio mescolando sulla carta o sulla tela dei pigmenti dei colori dati, si ottiene la risposta a questa domanda per mezzo di semplici considerazioni teoriche, effettuate sulla base dello schema illustrato

nella figura precedente. Osservando i raggi delle luci riflesse che vanno dalla superficie gialla verso l'osservatore, questa riflette la luce verde e la rossa; la superficie magenta riflette invece la luce blu e la rossa. Mescolando pertanto fisicamente dei pigmenti giallo e magenta, il giallo bloccherà la componente di luce blu riflessa dal magenta, mentre il magenta bloccherà la componente di luce verde riflessa dal giallo. Entrambi i pigmenti continueranno a riflettere la luce nello spettro del rosso e questo è il motivo per cui, amalgamando insieme pigmenti di questi due colori, *il colore risultante visto dall'osservatore sarà il rosso*. La curva di riflessione combinata del giallo e del magenta è illustrata in figura 4.8.

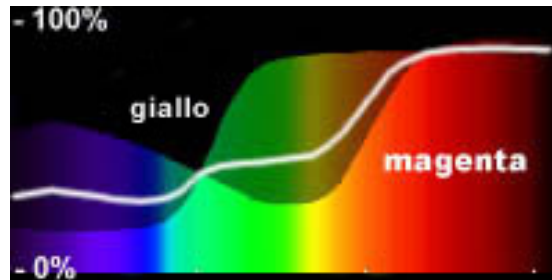


Fig.4.8. Le curve di riflessione del giallo e del magenta, combinate tra loro, mostrano che la luce riflessa risultante è nello spettro del rosso

Dall'esempio precedente si ricava una regola empirica: mescolando tra loro in modo appropriato due pigmenti sufficientemente saturi (tinture, vernici, etc.), il colore risultante percepito corrisponderà a quella parte dello spettro visibile che entrambi i pigmenti riflettono, mentre sarà cancellata ogni parte della luce visibile che è riflessa da uno soltanto di essi. In base a tale principio, mescolando il ciano e il magenta vedremo il colore blu, che entrambi riflettono. Allo stesso tempo la luce rossa riflessa dal magenta sarà bloccata dal ciano, così come sarà bloccata dal magenta la luce verde riflessa dal ciano. Analogamente, infine, mescolando del ciano con del giallo vedremo il colore verde, mentre verranno assorbite le luci nello spettro del rosso e del blu.

I tre colori di base utilizzati in questi esempi – il ciano, il giallo e il magenta – non sono stati scelti casualmente. Ciascuno di essi ha la proprietà di bloccare, cioè di sottrarre alla vista, uno dei colori primari della sintesi additiva e di riflettere gli altri due. Ciano, giallo e magenta sono perciò considerati i colori primari della sintesi o mescolanza sottrattiva, cioè di quella mescolanza di pigmenti che genera la visione di colori in dipendenza del modo in cui essi riflettono la luce bianca. Come abbiamo avuto modo di constatare poco sopra, la mescolanza di due primari qualsiasi della sintesi sottrattiva genera uno dei primari della sintesi additiva. Gli effetti della combinazione parziale o totale dei colori primari della sintesi sottrattiva sono illustrati nella figura 4.8.

È da notare che, mentre nella sintesi additiva il colore ottenuto dalla combinazione dei tre primari è il bianco, *nella sintesi sottrattiva il colore risultante è il nero*. Ciò si spiega facilmente: se ognuno dei primari della sintesi sottrattiva ha il potere di assorbire un terzo differente della radiazione visibile, mescolandoli tutti e tre l'intero spettro visibile verrà assorbito e *nessuna luce* sarà riflessa verso l'osservatore.

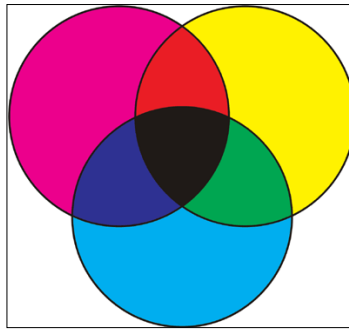


Fig.4.9. La sintesi - o mescolanza – sottrattiva

Dalle spiegazioni date fin qui potrebbe sembrare che le mescolanze di colori basate sulla sintesi sottrattiva siano altrettanto prevedibili e definite di quelle basate sulla sintesi additiva. In realtà non è affatto così. La mescolanza sottrattiva reale, purtroppo, deve fare i conti con la natura materiale dei pigmenti e delle superfici utilizzati. Le curve di riflessione dei colori usati nella pittura, ad esempio, sono solo *una lontana approssimazione* delle curve di riflessione ideali che occorrerebbero per produrre gli effetti teorici descritti negli esempi precedenti. La figura successiva mostra appunto le risposte ideali dei coni della retina per i tre colori primari della sintesi sottrattiva, a confronto con le risposte reali dei coni, suscitate dai pigmenti effettivamente disponibili per i colori ciano, magenta e giallo.

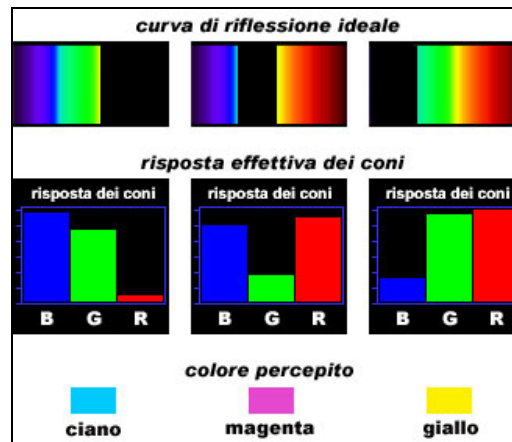


Fig.4.10. Curve di riflessione ideali a confronto con le curve reali nella sintesi sottrattiva

Come è evidente dai diagrammi della figura precedente, i pigmenti color ciano riflettono la luce verde meno della blu e riflettono anche una certa quantità di luce rossa. La teoria vorrebbe, invece, il 100% di riflessione di luce verde e blu e lo 0% di riflessione di luce rossa. Analogamente il pigmento giallo considerato nella figura riflette la luce verde in misura minore di quella rossa (in luogo del 100% richiesto dalla teoria per entrambe) e riflette anche una notevole quantità di luce blu, che dovrebbe invece essere completamente assorbita.

Gli esempi potrebbero continuare all'infinito. Quel che consegue da questa oggettiva differenza di comportamento tra i pigmenti realmente disponibili e le prescrizioni della teoria, è la progressiva perdita di saturazione risultante dalla mescolanza di pigmenti diversi. Nella mescolanza sottrattiva, infatti, *nessun colore ottenuto dalla combinazione di pigmenti*

può essere più saturo dei suoi componenti e, in generale, dei tre colori primari ciano, magenta e giallo. Ciò perché la saturazione è una caratteristica delle luci spettrali pure, che i colori della sintesi sottrattiva conservano solo nella misura in cui rimangono pure le luci che riflettono verso la retina.

Poiché gli stessi pigmenti usati come colori primari nella sintesi sottrattiva risentono di un difetto di saturazione, dovuto a curve di riflessione che non bloccano completamente nessuna lunghezza d'onda dello spettro visibile, a maggior ragione saranno meno saturi i colori risultanti dalla mescolanza di pigmenti diversi. Il diagramma nella figura 4.11. riportata di seguito, illustra il cosiddetto *saturation cost*, cioè il *prezzo in termini di saturazione*, che bisogna pagare quando si vogliono mescolare tra loro dei pigmenti. Il cerchio rappresenta la gamma dei colori ottenibili mescolando i tre primari della sintesi sottrattiva. Lungo la circonferenza si trovano i colori più saturi; a mano a mano che si procede verso il centro, occupato dal nero, i colori divengono sempre meno saturi e più scuri. Il colore risultante dalla combinazione di due pigmenti posti sulla circonferenza, si troverà su una corda che attraversa la circonferenza nei due punti occupati dai colori utilizzati: da ciò deriva che, quanto più sono lontani sulla circonferenza i due colori utilizzati, tanto più vicino al centro, e perciò meno saturo e più scuro, sarà il colore risultante dalla loro combinazione.

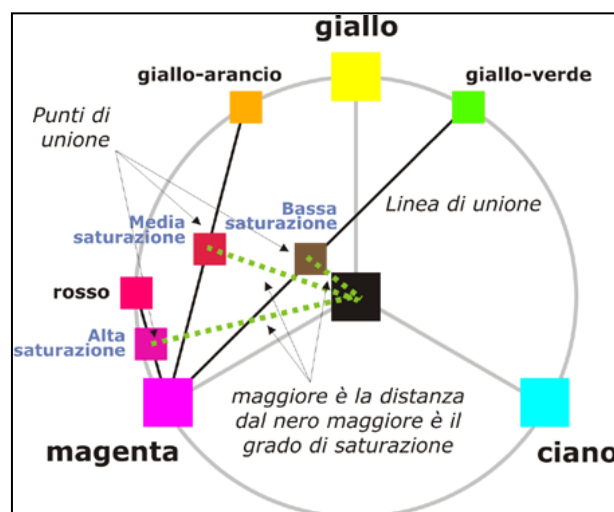


Fig.4.11. Quanto più due colori sono distanti sulla circonferenza tanto meno saturo sarà il colore risultante dalla loro combinazione

Mentre nella sintesi additiva il colore ottenuto dalla combinazione dei tre colori primari è il bianco, nella sintesi sottrattiva il colore risultante è il nero. La spiegazione è semplice: se ognuno dei primari della sintesi sottrattiva ha il potere di assorbire un terzo differente della radiazione visibile, mescolandoli tutti e tre l'intero spettro visibile verrà assorbito e nessuna luce sarà riflessa verso l'osservatore.

Il metodo additivo di rappresentazione del colore sta alla base di due sistemi di misura del colore molto diffusi nell'industria alimentare: il *sistema Munsell* e il *sistema CIE*.

### **Colori caldi e colori freddi**

I colori dell'iride e le loro sfumature nello spettro sono colori puri, perché non contengono né il bianco né il nero. Essi vengono classificati in colori caldi e colori freddi.



Questa suddivisione si evidenzia dividendo il cerchio delle tinte pure per mezzo di un asse verticale che collega il giallo al viola passando per il centro: si ottiene la divisione tra la zona dei toni detti caldi (giallo, arancione, magenta) e la zona dei toni detti freddi (verde ciano e viola). L'arancione –rosso risulta essere il più caldo dello spettro e il verde-blu il più freddo: nel loro rapporto si ha la massima esaltazione del contrasto caldo-freddo.

Un colore caldo è costituito da luce ad onde lunghe e ha quindi minore energia rispetto ad un colore freddo. Dal punto di vista fisico, dal rosso al violetto le radiazioni dello spettro visibile provenienti dal sole hanno lunghezze d'onda via via sempre più piccole: in ogni caso esse presentano tutte uguale intensità e i colori dello spettro visibile sono tutti saturi (hanno il massimo contenuto cromatico, la massima purezza). Tuttavia, poiché il nostro occhio è particolarmente sensibile alle radiazioni centrali dello spettro, queste ci appaiono più luminose, mentre quelle più lunghe, cioè verso il rosso e meno lunghe, verso il violetto, ci sembrano meno brillanti.

### ***I colori complementari***

Si definiscono complementari due colori che mescolati danno il grigio. Poiché la somma dei colori complementari dà il grigio (o nero), ogni tinta trova il suo complementare nel colore opposto. Così il complementare del giallo è il viola, che è la somma di magenta e ciano il complementare dell'arancio-giallo è il viola-blu.

Nella sfera cromatica, per trovare il colore complementare di una tinta basta congiungerla diametralmente con il colore opposto.



*Fig.4.12. Due colori complementari si trovano opposti nel cerchio cromatico*

I complementari dei colori puri formano coppie cromatiche con caratteristiche molto marcate. Le coppie sono:

giallo/viola

arancione /ciano

magenta /verde

La coppia magenta/verde esprime il massimo contrasto di opposizione tra due colori della medesima luminosità e rende difficile l'esatta percezione del limite dei due colori.

Due colori complementari "giustapposti", cioè accostati, provocano un contrasto di grande intensità, in cui entrambi risaltano in modo molto efficace. Mescolati tra loro invece annullano la loro cromaticità nel grigio.

Questa caratteristica della coppia dei due complementari rosso/verde trova applicazione in vari campi nel settore grafico, di arredamento e architettura per creare effetti forti e decisi.

### **L'immagine postuma**

detta anche *contrasto cromatico simultaneo*, *immagine simultanea*, *Afterimage*, *post-immagine*.

Studiata in modo approfondito da Hering, fondatore della teoria quadricromatica.

Quando l'occhio umano fissa per breve tempo un oggetto di un solo colore e poi fa cadere lo sguardo su una superficie bianca tenderà a rivedere lo stesso oggetto colorato del suo colore complementare.

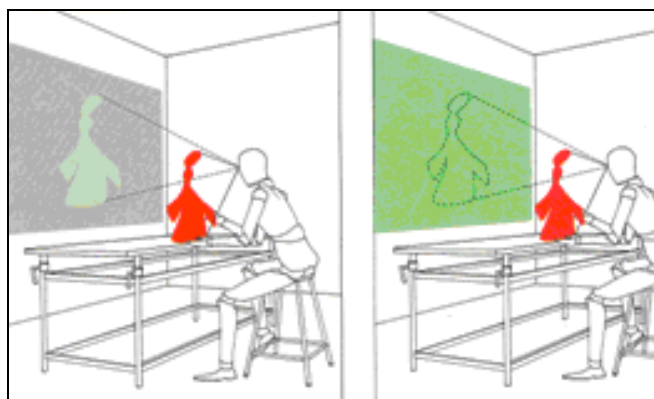


Fig.4.13. La costruzione dell'immagine postuma

Per un ambiente lavorativo soprattutto, dove il lavoratore osserva a lungo un prodotto colorato e poi sposta lo sguardo su una parete bianca, l'immagine simultanea che l'occhio crea può causare grossi problemi. È stato per questo motivo che i camici dei medici da bianchi, verso gli anni 60', sono diventati verdi. Gli occhi del chirurgo durante un intervento, fissavano per lunghi tempi la ferita circondata dal rosso intenso del sangue arterioso. Quando il suo occhio si spostava poi dal rosso della ferita alle circostanti superfici bianche nella sala operatoria, come quelle dei camici dei colleghi presenti, della parete della sala o degli stessi teli bianchi attorno alla ferita, l'occhio creava l'immagine simultanea. In pratica ricostruiva e vedeva sulla superficie bianca la stessa immagine che prima era rossa, ma questa volta la vedeva verde (rosso e verde sono colori complementari).

L'occhio ricostruiva la cosiddetta *immagine simultanea*. Questo creava grande fatica e deconcentrazione alla vista. Si è pertanto pensato di evitare tale stress sostituendo il camice bianco con uno verde, dando all'occhio direttamente nell'ambiente il complementare del rosso, per evitare così la costruzione dell'*Afterimage*, causa di stress visivo e deconcentrazione.

I camici verdi hanno dato un ulteriore beneficio al medico. La macchia di sangue appare grigia e non più rossa, veicolando al paziente un messaggio più rassicurante.

Questo fenomeno spiega anche perché il verde, nelle sue tonalità più chiare, sia diventata col tempo una tinta così diffusa sulle pareti delle sale operatorie. Nei primi anni di questo secolo fu *Robert Wilson* a introdurre questa nuova tinta nell'ambito ospedaliero, presso l'ospedale *Sacre Coeur* di Londra.

*Frank H. Mahnke*(1998) racconta di una fabbrica farmaceutica in cui gli operai di una linea di produzione, che dovevano controllare delle pillole di colore violetto-rosso, lamentavano forti emicranie e sostenevano di vedere davanti agli occhi dei pallini verdi. Il problema venne risolto disponendo attorno agli operai degli schermi verdi su cui sfondi i pallini non

comparivano più. La direzione della fabbrica aveva capito che il verde era l'immagine simultanea del rosso-violetto delle pillole osservate di continuo.

*La tendenza a costruire l'immagine simultanea è tanto maggiore quanto maggiore è la saturazione della tinta osservata. E' inoltre direttamente proporzionale al suo tempo di osservazione.*

All' effetto di contrasto cromatico corrisponde un effetto analogo per quanto riguarda la luminanza degli stimoli. Si parla di *contrasto luminoso* che fa apparire un colore più chiaro se il suo sfondo è scuro.

## ***Allegato 11 – Referenze***

- Partecipazione al Gruppo di Ricerca dell' Unità Operativa di Milano al Progetto P.R.I.N. 2007, *Criteri di analisi e progettazione integrata nell'industria agroalimentare*, Prof. Franco Sangiorgi, Responsabile Nazionale e Coordinatore dell'UO di Milano, Dipartimento di Ingegneria Agraria, Università degli Studi di Milano
- Mastropietro M., Dioguardi L., *The Colour as design instrument to increase the workers welfare in the ready-to use fruits sector*, XXXIII CIOSTA–CIGR Section V Conference and IUFRO Workshop, Reggio Calabria, 17- 19 June 2009
- Mastropietro M., *Il colore nel packaging alimentare*, Quinta Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, CPPR, Palermo, 7 -9 ottobre 2009
- Mastropietro M., *Individuazione del colore del camice in uno studio ortodontico*, Quinta Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, CPPR, Palermo, 7 -9 ottobre 2009
- Mastropietro M., *Il colore negli alimenti e nel packaging alimentare*, Seminario di Konica Minolta, Stazione Sperimentale per l'Industria delle Conserve (SSICA), Parma, 21 giugno 2011
- Mastropietro M., *Le regole per colorare il food e beverage*, Settima Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, Università La Sapienza, Roma, 15-16 settembre, 2011
- Mastropietro M., *Colore e alimentazione*, Corso di perfezionamento in Nutrizione e Benessere 2010/2011, Dipartimento di Endocrinologia, Fisiopatologia e Biologia Applicata, Università degli Studi di Milano, ottobre 2011