

SCUOLA DI SCIENZE

Dipartimento di Chimica Industriale “Toso Montanari”

Corso di Laurea Magistrale in

**Chimica Industriale**

Classe LM-71 - Scienze e Tecnologie della Chimica Industriale

*Disperse dyes* con anello tiazolico per la  
colorazione di tessuti e fibre naturali e sintetiche

Tesi di laurea sperimentale

**CANDIDATO**

Aniello Zabatta

**RELATORE**

**Prof.ssa** Carla Boga

**CORRELATORE**

Prof.ssa Barbara Ballarin

Dott. Gabriele Micheletti

---

**Anno Accademico 2016-2017**

---

## ABSTRACT

In this experimental work, a comparative study on the dyeing ability of a series of thiazole-based azo compounds on different synthetic and natural fibers was performed. The azo compounds were synthesized starting from 2-aminothiazoles substituted, or not, at position 4, and tetrafluoroborate aryldiazonium salts. They have been applied as disperse dyes for the dyeing of synthetic and natural textiles and fibers. The staining process was carried out under different conditions and the color of each sample was measured using the CIELab system. The influence of pH, dispersing agents and washing resistance were assessed. The most satisfactory results were obtained for the textiles of acetate, polyamide and silk.

## RIASSUNTO

In questo lavoro sperimentale si è voluto fare per la prima volta uno studio comparato sulle capacità coloranti di una serie di azocomposti a base tiazolica su diversi tipi di fibre, sia sintetiche che naturali. Gli azocomposti sono stati sintetizzati a partire da 2-amminotiazoli sostituiti, o non, in posizione 4, e sali di arildiazonio tetrafluoroborati. Essi sono stati applicati come *disperse dyes* per la colorazione di tessuti e fibre di natura sintetica e naturale. Il processo di colorazione è stato condotto in differenti condizioni operative, determinando successivamente l'entità della colorazione di ogni campione con misure colorimetriche utilizzando il sistema CIELab. Sulla colorazione dei campioni sono stati valutati l'influenza del pH, la presenza di un agente disperdente e la resistenza al lavaggio. I risultati più soddisfacenti sono stati ottenuti per i tessuti di acetato, poliammide e seta.

## Indice

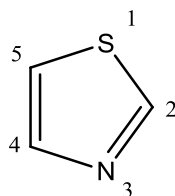
<b>1. 2-AMMINOTIAZOLI</b>	
1.1 INTRODUZIONE	5
1.2 SINTESI	6
1.3 REATTIVITA	7
1.3.1 Reazione di 2-amminotiazoli con sali di diazonio	7
1.4 APPLICAZIONI	9
<b>2. COLORANTI</b>	
2.1 INTRODUZIONE	10
2.1.1 Classificazione coloranti	11
2.2 COLORANTI AZOICI	12
2.2.1 Sintesi dei coloranti azoici	13
2.3 <i>DISPERSE DYES</i>	14
2.3.1 <i>Disperse dyes</i> con anello tiazolico	16
2.4 STRUTTURA CHIMICA E PROCESSO DI COLORAZIONE DEI DIVERSI SUBSTRATI	17
2.5 COLORE E COLORIMETRIA	26
2.5.1 Il sistema sorgente-campione-osservatore	27
2.5.2 Spazio colore a cromaticità costante e sistema CIELab	35
2.5.3 La misurazione strumentale del colore: lo spettrofotometro	38
<b>3. SCOPO DELLA TESI</b>	40
<b>4. RISULTATI E DISCUSSIONE</b>	
4.1 REAZIONE TRA 2-AMMINOTIAZOLI E SALI DI DIAZONIO	41
4.2 SPETTRI DI ASSORBIMENTO UV-VIS	42
4.3 PROCESSO DI COLORAZIONE E MISURA DEL COLORE	44
4.3.1 Misurazione del colore: interpretazione dei parametri colorimetrici L, a e b e delle differenze $\Delta L$ , $\Delta a$ e $\Delta b$	47
4.3.2 Differenze delle misure colorimetriche in funzione dell'illuminante scelto	60

4.4 CAPACITÀ COLORANTI DEGLI AZOCOMPOSTI IN FUNZIONE DEL TIPO DI SUBSTRATO	61
4.5 INFLUENZA DEL pH SULLA COLORAZIONE DEI DIVERSI SUBSTRATI	63
4.6 INFLUENZA DELL'AGENTE DISPERDENTE SULLA COLORAZIONE DEI DIVERSI SUBSTRATI	70
4.7 RESISTENZA AL LAVAGGIO DELLA COLORAZIONE SUI DIFFERENTI SUBSTRATI	74
4.8 CONCLUSIONI	76
<b>5. PARTE SPERIMENTALE</b>	
5.1 SINTESI E CARATTERIZZAZIONE	77
5.1.1 Sintesi del 4-carbossilbenzene diazonio tetrafluoroborato ( <b>2d</b> )	78
5.1.2 Sintesi di 2-ammino-5-arilazo-tiazoli ( <b>3</b> )	78
5.1.3 Calcolo coefficienti estinzione molare	79
5.2 COLORAZIONE DEI SUBSTRATI	93
5.2.1 Processo di colorazione	93
5.2.2 Misure colorimetriche	94
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b>	95
<b>APPENDICE A</b>	98
<b>APPENDICE B</b>	104

## 1. 2-AMMINOTIAZOLI

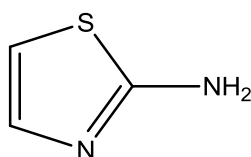
### 1.1 INTRODUZIONE

Le proprietà chimico-fisiche dell'1,3-tiazolo (Figura 1) e dei suoi derivati sono di grande interesse in chimica organica sia in campo sintetico che meccanicistico poiché questi eterocicli pentatomici mostrano peculiarità inusuali.<sup>1</sup> La presenza di un atomo di zolfo in cicli pentatomici produce un sistema elettronrico (simil tiofene). Al contrario l'azoto, essendo di tipo piridinico, si comporta come un gruppo elettron-attrattore e il risultato complessivo, con entrambi gli eteroatomi, presenta contemporaneamente un equilibrio tra un sistema elettronrico e uno elettronpovero. Di conseguenza le proprietà dei derivati tiazolici differiscono da quelle dei derivati tiofenici e da quelle dei derivati piridinici.<sup>2</sup>



**Figura 1.** 1,3 tiazolo.

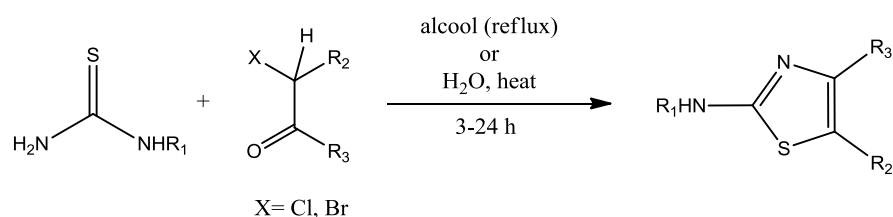
Tra i derivati tiazolici i 2-amminotiazoli presentano un gruppo amminico in posizione 2 (Figura 2) che tende a dare un carattere maggiormente nucleofilo all'intero sistema (vedi paragrafo 1.3). Questi composti e i suoi derivati hanno assunto notevole importanza in quanto presentano un'interessante attività biologica (vedi capitolo 1.4) e vengono utilizzati principalmente come intermedi per la sintesi di farmaci, ma hanno anche altre applicazioni di spiccato interesse, fra le quali quelle che prevedono il loro utilizzo per la sintesi di coloranti (vedi capitolo 2).



**Figura 2.** 2-amminotiazolo.

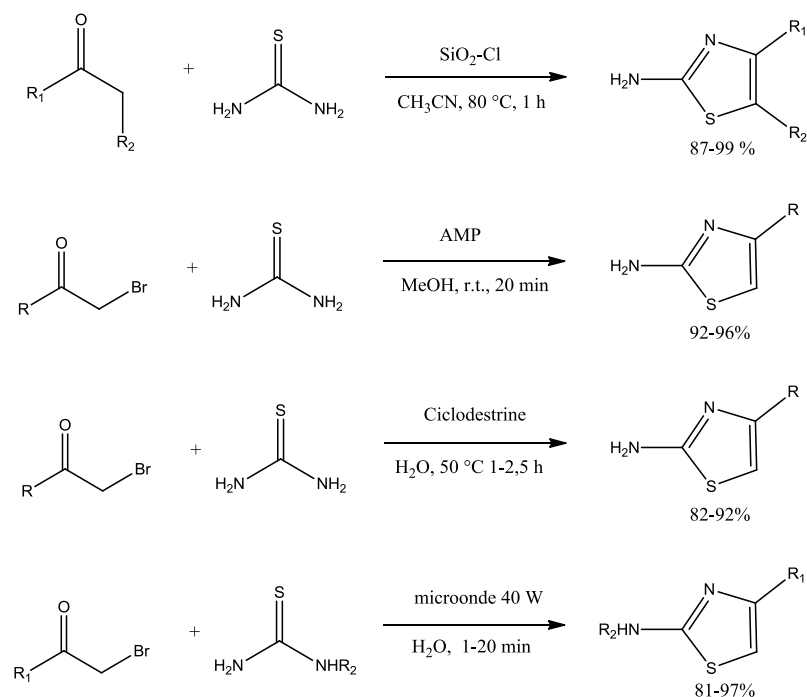
## 1.2 SINTESI

Sono state riportate varie metodologie per la sintesi di 2-amminotiazoli e i loro derivati. Tra queste quella di Hantzsch<sup>1</sup> è la più utilizzata e prevede la reazione di ciclizzazione tra composti carbonilici  $\alpha$ -alogenati e tiourea o tioammidi, principalmente in alcool a riflusso o in acqua (Schema 1). Questo metodo tradizionalmente richiede lunghi tempi di reazione, elevate temperature, e generalmente dà buone rese del prodotto.<sup>1</sup>



**Schema 1.** Sintesi di Hantzsch condotta in maniera tradizionale.

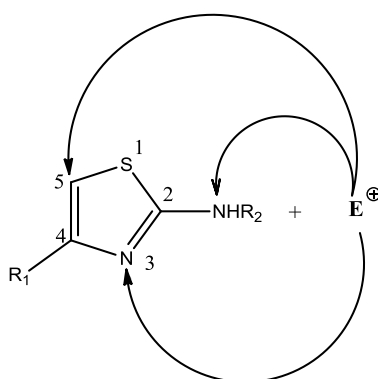
Di recente sono state riportate nuove tipologie di sintesi che prevedono reazioni catalizzate da iodio,<sup>3</sup>  $\text{SiO}_2\text{-Cl}$ ,<sup>4</sup> ammonio-12-molibdofosfato (AMP),<sup>5</sup>  $\beta$ -ciclodestrine<sup>6</sup> e dall'irraggiamento di microonde,<sup>7</sup> che migliorano le condizioni operative, riducendo sia i tempi di reazione che la temperatura del processo, ottenendo delle ottime rese. Inoltre in alcuni casi si sostituiscono i solventi organici con l'acqua per un processo più economico e sostenibile per l'ambiente (Schema 2).



**Schema 2.** Miglioramenti nel processo di sintesi di Hantzsch.

### 1.3 REATTIVITÀ

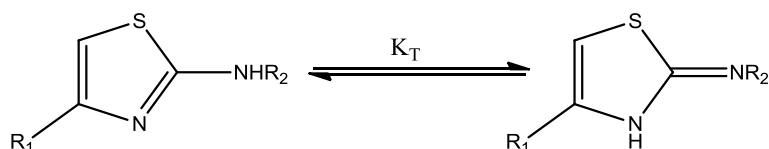
Il 2-amminotiazolo (e i suoi derivati) sono un'interessante classe di agenti nucleofili che possono subire l'attacco elettrofilico sia sugli atomi di azoto che al carbonio C-5 (Schema 3). Infatti essi sono considerati dei nucleofili tridentati.<sup>8</sup>



**Schema 3.** Nucleofilicità dei 2-amminotiazoli e i suoi derivati.

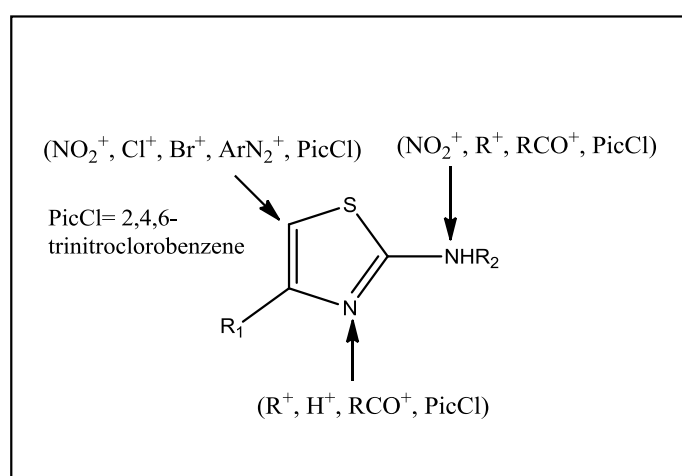
Il carbonio C-5 è il sito meno reattivo dei 3, mentre la competizione tra l'azoto esociclico e quello endociclico nei confronti degli elettrofili dipende principalmente dall'equilibrio tautomerico ammina-immina che determina il sito preferenziale per

l'attacco elettrofilo (Schema 4): per la forma amminica l'azoto endociclico è più nucleofilo di quello esociclico, viceversa per la forma imminica.<sup>9</sup> La forma predominante per la maggior parte dei derivati 2-amminotiazolici è quella amminica ( $K_T = 4,67 \cdot 10^{-5}$  per il 2-amminotiazolo), anche se la presenza di gruppi elettron-attrattori legati all'azoto esociclico sposta l'equilibrio verso la forma imminica.<sup>8</sup>



**Schema 4.** Tautomeria ammina-immina dei 2-amminotiazoli e suoi derivati.

La regioselettività dipende dalla reversibilità delle reazioni considerate, dalla basicità e polarizzabilità dei centri di reazione e dall'ingombro sterico che coinvolge tali centri.<sup>8</sup> Di solito la maggior parte delle reazioni che avvengono all'azoto esociclico sono reversibili, mentre quelle che avvengono al carbonio C-5 sono irreversibili.<sup>8</sup> La protonazione avviene principalmente all'azoto endociclico che è anche il centro più basico.<sup>8</sup> Gli elettrofili al carbonio potrebbero reagire su entrambi gli atomi di azoto e il fattore predominante in questo caso è l'ingombro sterico. Ad esempio se è presente un gruppo alchilico in posizione 4 sarà maggiormente favorito l'attacco sull'azoto esociclico anziché su quello endociclico nonostante quest'ultimo sia un nucleofilo migliore.<sup>8,10</sup> Nello schema 5 viene riassunta la reattività dei 2-amminotiazoli nei confronti di differenti elettrofili.<sup>8</sup>

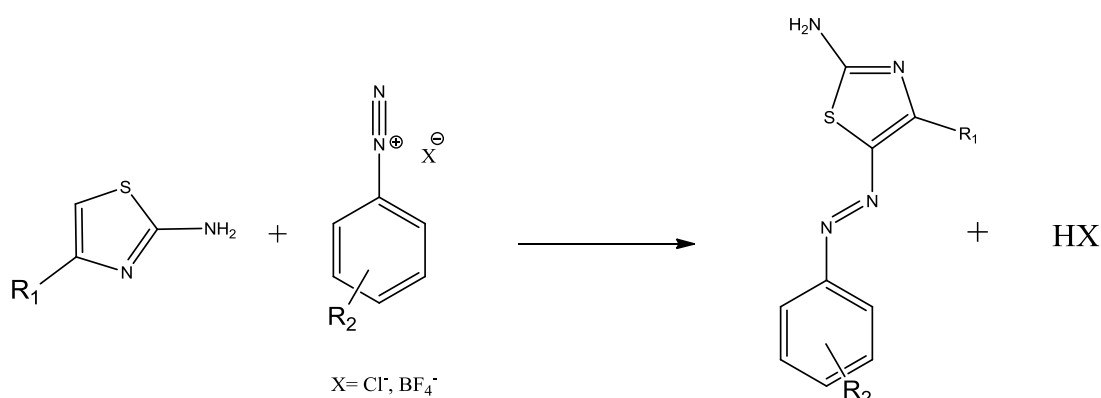


**Schema 5.** Reattività dei 2-amminotiazoli e i loro derivati nei confronti di differenti elettrofili.

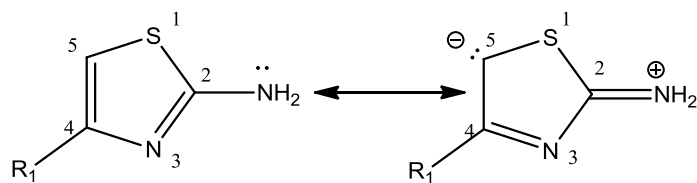


### 1.3.1 Reazione di 2-amminotiazoli con sali di diazonio

I 2-amminotiazoli reagiscono con sali di diazonio portando alla formazione di azocomposti attraverso una reazione di azocopulazione (Schema 6). Questa è assimilabile ad una reazione di sostituzione elettrofila aromatica che avviene sul carbonio C-5 dell'anello tiazolico ed è attivata dal forte potere elettron-donatore del gruppo amminico legato in posizione 2,<sup>8</sup> infatti le due posizioni (5 e 2) sono coniugate (Figura 3). Questa reazione è quella utilizzata in questo lavoro di tesi per preparare nuovi coloranti azoici.



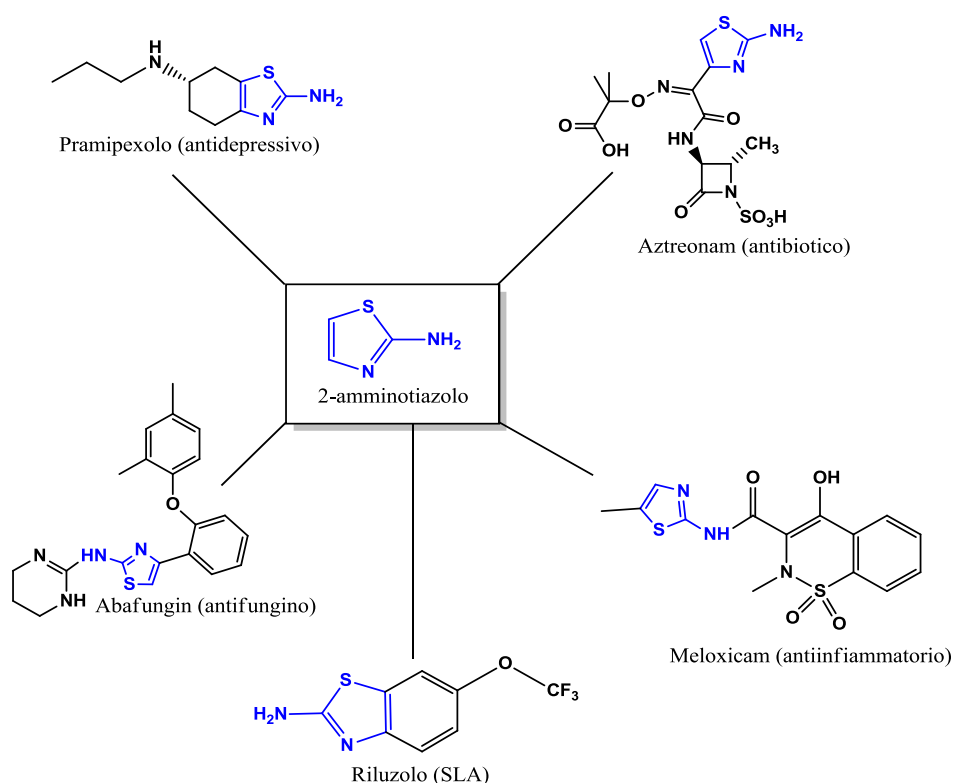
**Schema 6.** Reazione tra sali di diazonio e 2-amminotiazoli.



**Figura 3.** Formula di risonanza che mostra la coniugazione tra la posizione 2 e 5.

## 1.4 APPLICAZIONI

I 2-amminotiazoli, così come i loro derivati, sono un' importante classe di composti eterociclici aromatici che sono noti per la loro attività biologica. Essi infatti hanno mostrato un'interessante attività antitumorale, antiinfiammatoria, antivirale, antimicrobica, antifungina, antibatterica, antielmintica e insetticida,<sup>11-17</sup> e vengono utilizzati come intermedi per la sintesi di diversi prodotti farmaceutici (Figura 4).



**Figura 4.** Alcuni farmaci commerciali che contengono il nucleo amminotiazolico.

Altro importante campo di applicazione dei derivati 2-amminotiazolici è quello che li vede come intermedi per la sintesi di azocomposti al fine di realizzare coloranti, in particolare *disperse dyes*, per molteplici applicazioni (vedi capitolo 2).

## 2. COLORANTI

### 2.1 INTRODUZIONE<sup>18</sup>

La colorazione di molteplici articoli manifatturieri, dai tessuti alle plastiche, dai prodotti vernicianti agli inchiostri viene effettuata per una varietà di ragioni, ma principalmente per migliorare l'aspetto di un prodotto e aumentarne l'attrattiva sul mercato. E' questo anche il caso di coloranti usati nell'industria alimentare, cosmetica e farmaceutica. Il colore desiderato è generalmente ottenuto incorporando all'interno di un prodotto composti colorati, sia che essi siano coloranti o pigmenti.

Infatti il termine *colorante* in senso lato viene utilizzato per indicare entrambi i tipi, ma è importante distinguerli in quanto si differenziano nelle proprietà e nel modo in cui vengono utilizzati. I pigmenti sono composti che devono essere totalmente insolubili nel mezzo in cui vengono incorporati. Essi sono applicati attraverso un processo di dispersione che serve per dividerli in particelle finissime, ma non si dissolvono nel solvente in cui sono dispersi. Questa capacità di resistere alla dissoluzione deriva dalla forte attrazione reciproca delle molecole di pigmento nella loro struttura cristallina. La loro applicazione è principalmente nei prodotti vernicianti, inchiostri e plastiche, ma anche nei materiali da costruzione, come nel calcestruzzo e cemento, nella ceramica e nel vetro.

Invece i coloranti sono più o meno solubili nel mezzo in cui sono utilizzati e vengono applicati principalmente sui materiali tessili da mezzo acquoso. Così essi devono essere in genere totalmente solubili in acqua come nel caso, ad esempio, dei coloranti acidi, coloranti cationici, coloranti diretti e coloranti reattivi. Però non tutte le classi di colorante sono completamente solubili in acqua, infatti i *disperse dyes* (vedi paragrafo 2.3) sono scarsamente solubili e vengono applicati con una fine dispersione acquosa. Un'ulteriore distinzione tra coloranti e pigmenti è che le molecole di colorante sono progettate per avere una forte affinità con il substrato su cui vanno applicati, mentre tale affinità per il substrato non viene esibita dalle molecole di pigmento, su cui aderiscono mediante opportune sostanze leganti.

### **2.1.1 Classificazione dei coloranti**

I coloranti possono essere classificati in due separati modi, o a seconda della loro struttura chimica o a seconda della loro applicazione. Il riferimento a questa classificazione è il Colour Index, una pubblicazione di più volumi che comprende una lista di tutti i coloranti commerciali. Esso fornisce informazioni riguardo alla sintesi e alle proprietà di ogni colorante e ai metodi con cui esso viene applicato.

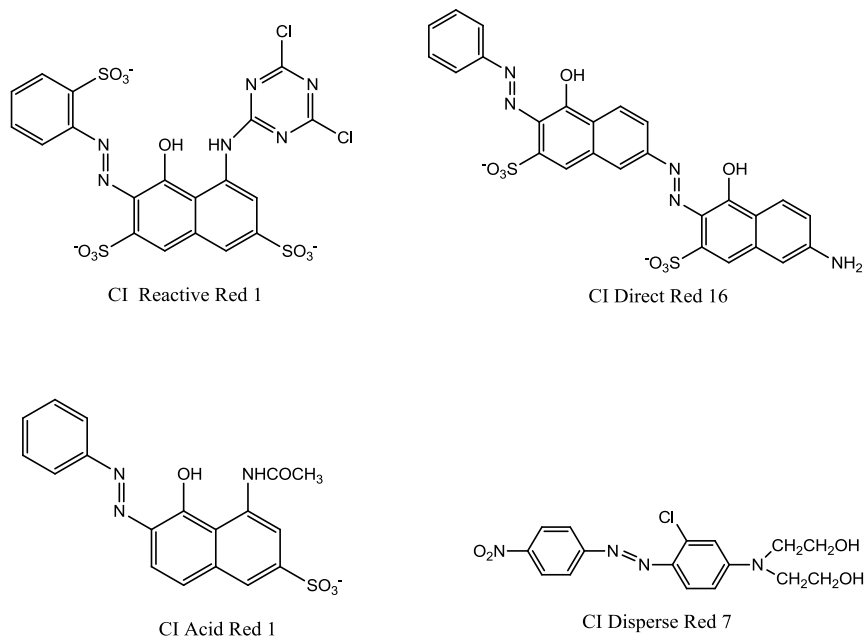
Nel metodo della classificazione chimica i coloranti sono raggruppati in base ai comuni aspetti della struttura chimica. In tal senso si distinguono i coloranti appartenenti alle classi chimiche: azo (-N=N-), carbonilici (C=O), metinici (-CH=), ftalocianine, ioni arilcarbonio e nitro.

Invece la classificazione secondo il campo di applicazione ha una maggiore utilità. Infatti per quanto riguarda la colorazione dei tessuti, la natura delle differenti fibre

tessili, sia naturali che sintetiche, richiede che ogni colorante venga progettato in modo tale da avere una serie di caratteristiche chimiche per promuovere l'affinità con il substrato su cui va ad applicarsi. Pertanto la classificazione per applicazione comprende coloranti acidi per le fibre proteiche, coloranti diretti e reattivi per le fibre cellulosiche, *disperse dyes* per le fibre poliestere.

## 2.2 COLORANTI AZOICI<sup>18</sup>

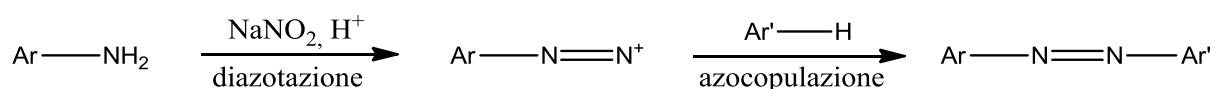
I coloranti azoici sono una delle classi più importanti e costituiscono più del 50% dei coloranti in commercio per il settore tessile. Essi sono caratterizzati dal gruppo azo (-N=N-) che collega, di solito, due sistemi aromatici (Figura 5). La maggior parte dei coloranti commerciali contengono un singolo gruppo azo, ma alcuni ne possono contenere anche di più. La loro applicabilità è principalmente nella colorazione di giallo, arancione e rosso, rispetto a quella blu e verde. Generalmente i coloranti azoici danno colorazioni intense e brillanti e impartiscono ottime proprietà, come la resistenza alla luce, calore, acqua e altri solventi. Inoltre la procedura di sintesi effettuata a temperatura ambiente, con rese quantitative e con poco dispendio di energia, rende questi coloranti molto attrattivi.



**Figura 5.** Alcuni azocomposti commerciali

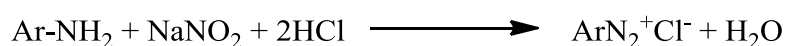
### 2.2.1 Sintesi dei coloranti azoici

Ci sono diversi modi per la sintesi di azocomposti, ma il metodo principalmente utilizzato, anche su larga scala, prevede 2 *step* di reazione: diazotazione e azocopulazione (schema 7):



**Schema 7.** Sintesi degli azocomposti

Il primo *step* consiste nel fare reagire un'ammina primaria aromatica con acido nitroso,  $\text{HNO}_2$ , per formare il sale di diazonio. Dato che l'acido nitroso è un gas piuttosto instabile, esso viene generato nella miscela di reazione trattando il sodio nitrito con un forte acido, di solito  $\text{HCl}$ . La reazione può essere così schematizzata:



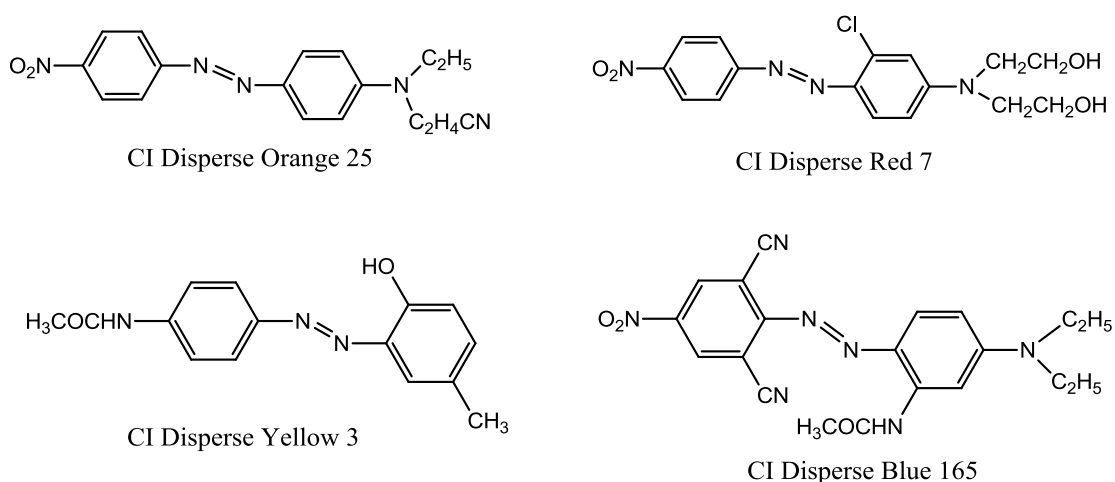
Di solito la reazione viene condotta con un eccesso di acido sia per favorire la generazione dell'acido nitroso, sia per evitare reazioni parassite che portano alla formazione di triazine come sottoprodotti. Inoltre un eccesso di acido porta alla formazione del sale dell'ammina ( $\text{ArNH}_3^+\text{Cl}^-$ ) che è una specie più solubile in acqua rispetto all'ammina libera, anche se quest'ultima è la specie reattiva. La reazione viene generalmente condotta a basse temperature, di solito tra  $0\text{ }^\circ\text{C}$  e  $5\text{ }^\circ\text{C}$ , a causa dell'instabilità del sale di diazonio, che in soluzione acquosa a temperature superiori si decompone facilmente liberando azoto. Il metodo principalmente utilizzato per stabilizzare i sali di diazonio è quello di farli precipitare come sali tetrafluoroborati, che poi possono essere filtrati e seccati, essendo stabili a temperatura ambiente. La possibilità di utilizzare acqua come solvente e l'ottenimento di rese quantitative rende la reazione di diazotazione di una certa importanza a livello industriale.

Il secondo *step*, l'azocopulazione, consiste in una reazione di sostituzione elettrofila aromatica, in cui l'elettrofilo è costituito dal catione diazonio,  $\text{ArN}_2^+$ . Esso è un elettrofilo relativamente debole e perciò reagirà con sistemi aromatici che sono fortemente attivati all'attacco elettrofilico dalla presenza di gruppi elettron-donatori, come visto per la sintesi degli azocomposti utilizzando i 2-amminotiazoli (paragrafo 1.3.1). I gruppi elettron-donatori principalmente presenti sui sistemi aromatici sono il

gruppo amminico e il gruppo idrossile. La reazione viene condotta a temperatura ambiente o al di sotto di questa per evitare la decomposizione del sale di diazonio. Come per la reazione di diazotazione anche per l'azocopulazione si ottengono in genere rese quantitative del prodotto.

### 2.3 DISPERSE DYES

I *disperse dyes*, rispetto alle altre classi di coloranti, sono coloranti non ionici relativamente insolubili in acqua a temperatura ambiente e limitatamente solubili a più alte temperature. Essi possiedono un'elevata affinità per le fibre sintetiche quali poliestere, poliammide e acetato. La maggior parte dei disperse dyes sono azocomposti caratterizzati dalla presenza di gruppi polari che ne aumentano la solubilità in acqua (Figura 6). Tali gruppi, oltre ad instaurare interazioni con l'acqua, attraverso la generazione di forze dipolari, legami ad idrogeno e forze di dispersione, interagiscono con i gruppi polari delle fibre.



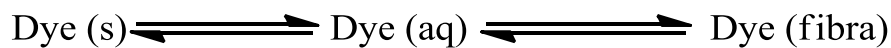
**Figura 6.** Alcuni esempi di *disperse dyes*.

Come si intuisce dal nome, questi coloranti sono presenti nel bagno di tintura in una fine sospensione dispersa in acqua, molto spesso generata dalla presenza di un opportuno agente disperdente. Durante la colorazione, una piccola quantità di colorante si dissolve in acqua, poi si adsorbe sulla superficie della fibra ed infine diffonde al suo interno (Schema 8).<sup>19</sup> Questo processo è comparabile con

l'estrazione liquido-liquido tra due liquidi immiscibili di un soluto e corrisponde ad un equilibrio governato da un coefficiente di ripartizione:

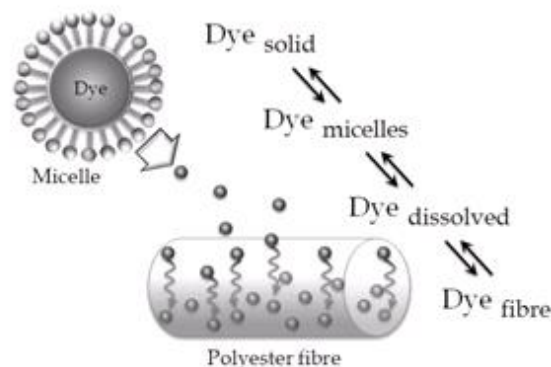
$$K = \frac{D_{ad}}{D_s}$$

dove K è il coefficiente di ripartizione, [D]<sub>ad</sub> è la quantità di colorante adsorbita sulla fibra e [D]<sub>s</sub> è la concentrazione del colorante nel bagno di tintura. I valori del coefficiente di ripartizione dipenderanno sia dalla solubilità del colorante in acqua che nella fibra. Tali solubilità regolano la velocità dell'intero processo.



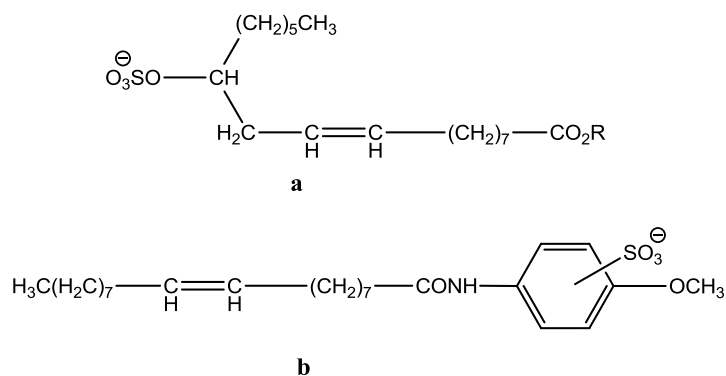
**Schema 8.** Meccanismo di colorazione dei *disperse dyes*

La presenza di un agente disperdente aumenta l'apparente solubilità del colorante in acqua, in quanto agisce come un surfattante creando una micella che ingloba le particelle di colorante. La micella rilascia le particelle di colorante in soluzione nel bagno di tintura, e svuotandosi poi è in grado di dissolvere altro colorante solido (Figura 7).<sup>20</sup> L'agente disperdente stabilizza la sospensione del colorante, evitando l'aggregazione tra le particelle e permette di ottenere colorazioni più uniformi.



**Figura 7.** Possibile meccanismo di colorazione in presenza di un agente disperdente

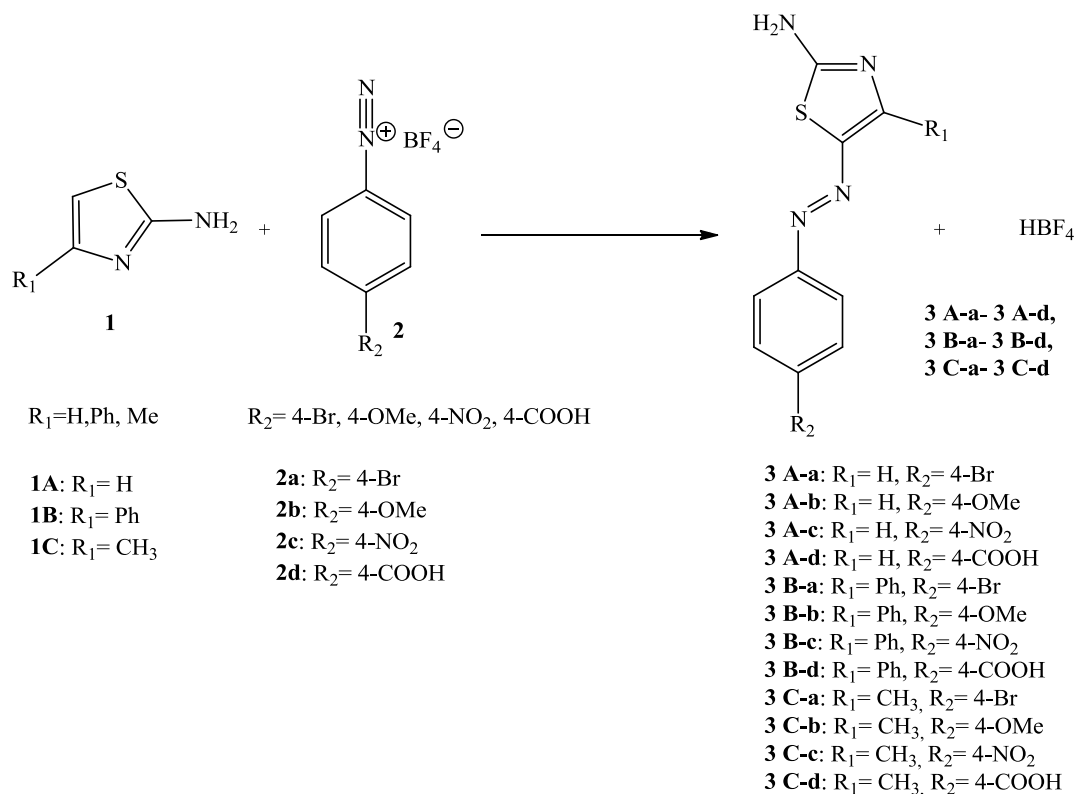
Questi agenti disperdenti di solito sono composti anionici, in cui la carica negativa viene impartita dalla presenza di gruppi solfati o solfonati (Figura 8).



**Figura 8.** a) il primo storico disperdente utilizzato, acido ricinoleico solfato; b) un disperdente moderno, oleil-p-anisidide solfonato

### 2.3.1 Disperse dyes con anello tiazolico

I coloranti prodotti durante il mio tirocinio e discussi in questo lavoro di tesi sono dei *disperse dyes* caratterizzati dall'anello tiazolico. Essi sono degli azocomposti che sono stati sintetizzati facendo reagire 2-amminotiazoli con sali di diazonio tetrafluoroborati. Sono stati impiegati 2-amminotiazoli con diverso sostituente legato in posizione 4 sull'anello tiazolico e sali di diazonio diversamente sostituiti sull'anello aromatico (Schema 9).



**Schema 9.** Azocomposti sintetizzati



Gli azocomposti sintetizzati presentano le caratteristiche di *disperse dyes* essendo composti neutri e scarsamente solubili in acqua. Infatti in letteratura sono presenti molti esempi di azocomposti contenenti l'anello tiazolico, alcuni dei quali presentano anche attività biologica,<sup>21-23</sup> utilizzabili come *disperse dyes*.<sup>24-29</sup> In particolare, tra i composti sintetizzati, il **3 B-a**, il **3 B-b** e il **3 B-c** sono stati già riportati e adoperati per la colorazione di fibre poliestere.<sup>30</sup>

## 2.4 STRUTTURA CHIMICA E PROCESSO DI COLORAZIONE DEI DIVERSI SUBSTRATI<sup>19</sup>

In questo lavoro di tesi i substrati utilizzati per la colorazione possono essere generalmente classificati in naturali e sintetici. I substrati naturali adoperati sono la lana ovina, la lana di yak, la seta e il cotone, mentre quelli sintetici sono stati il poliestere, la poliammide e l'acetato.

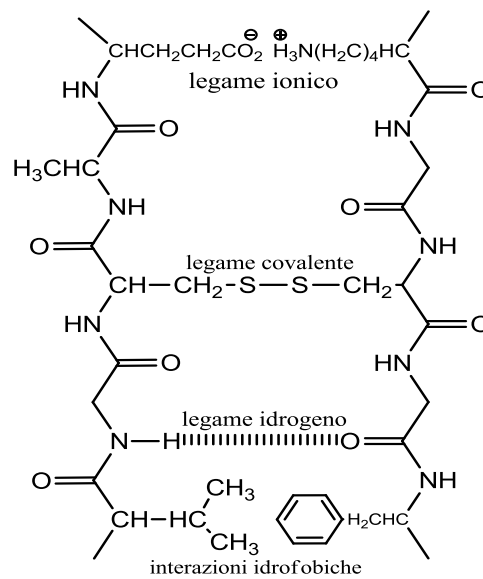
**Lana, yak** (un tipo particolare di lana) e **seta** sono caratterizzati da fibre proteiche di origine animale. Per quanto riguarda la **lana** (ma il discorso è analogo per lo **yak**), la quantità di amminoacidi al suo interno è nota (Figura 9), ma non la sequenza con cui si ripetono nella catena proteica che dipende dalla varietà di pecora, dalla sua alimentazione e dall'esposizione a fattori quali il calore, l'acqua e la luce.

COMPOSIZIONE AMMINOACIDI DELLE FIBRE PROTEICHE

	(Wool)	(Silk)
Gly	8.1	<b>44.6</b>
Ala	5.0	<b>29.4</b>
Ser	<b>10.2</b>	<b>12.2</b>
Glu + Gln	<b>12.1</b>	1.0
Cys	<b>11.2</b>	0
Pro	7.5	0.3
Arg	7.2	0.5
Leu	6.9	0.5
Thr	6.5	0.9
Asp + Asn	6.0	1.3
Val	5.1	2.2
Tyr	4.2	5.2
Ile	2.8	0.7
Phe	2.5	0.5
His	0.7	0.2
Met	0.5	0
Trp	1.2	0.2

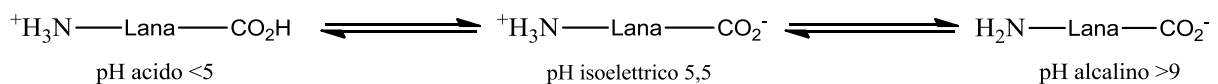
**Figura 9.** Composizione amminoacidica di lana e seta con in rosso segnate le quantità di amminoacidi in percentuale maggiore

La proteina principale di cui è costituita la lana è la cheratina che presenta un elevato contenuto di zolfo dato dall'abbondanza di cisteina, che forma ponti disolfuro tra le catene proteiche. Questi legami covalenti contribuiscono alla stabilità della lana e alle sue proprietà meccaniche. Inoltre le catene proteiche sono tenute insieme da legami ad idrogeno, ionici e interazioni idrofobiche, quest'ultime instaurate tra i gruppi non polari della catena (Figura 10).



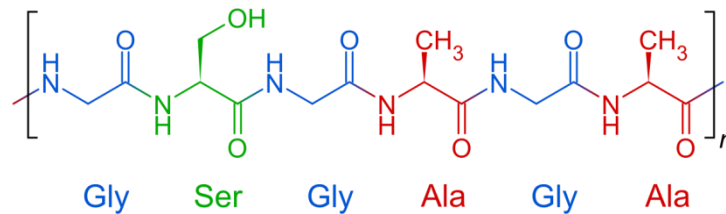
**Figura 10.** Tipi di legami inter-catena nella lana

La presenza di gruppi di natura ionica di tipo acido e basico portano alla formazione di legami ionici tra le catene proteiche. La loro formazione è pH dipendente ed è massima al punto isoelettrico che corrisponde circa a pH 5,5 (Schema 10). Questo è il pH al quale la fibra di lana ha esattamente lo stesso numero di gruppi cationici e anionici ed è quindi elettricamente neutra.



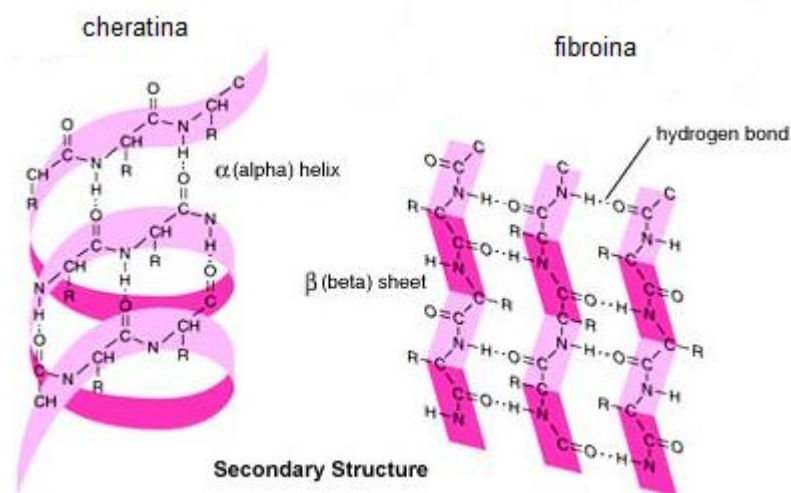
**Schema 10.** Variazione della carica elettrica sui residui aminoacidici della cheratina a seconda del pH.  $\text{NH}_2$  indicano residui di aminoacidi basici e  $\text{COOH}$  residui di aminoacidi acidi

A differenza della lana, la **seta** è costituita principalmente di fibroina, una proteina la cui sequenza amminoacidica è nota, costituita da un minor numero di amminoacidi che si ripetono lungo la catena proteica (Figura 11). Gli amminoacidi maggiormente presenti sono la glicina, la serina e l'alanina (Figura 9).



**Figura 11.** Struttura primaria della seta

La fibroina ha una struttura secondaria costituita da strati antiparalleli di foglietti-beta e la presenza di elevate quantità di glicina e alanina fanno assumere alle sete una struttura compatta, conferendole un'elevata rigidità e resistenza alla deformazione (Figura 12). La cheratina invece assume una conformazione ad alfa-elica e la lana presenta una struttura meno compatta della seta, a causa della presenza di gruppi laterali più ingombranti. Infatti la lana presenta più zone amorphe ed ha un grado di cristallinità molto più basso rispetto alla seta, che le permette di avere fibre più elastiche e capacità assorbenti maggiori.

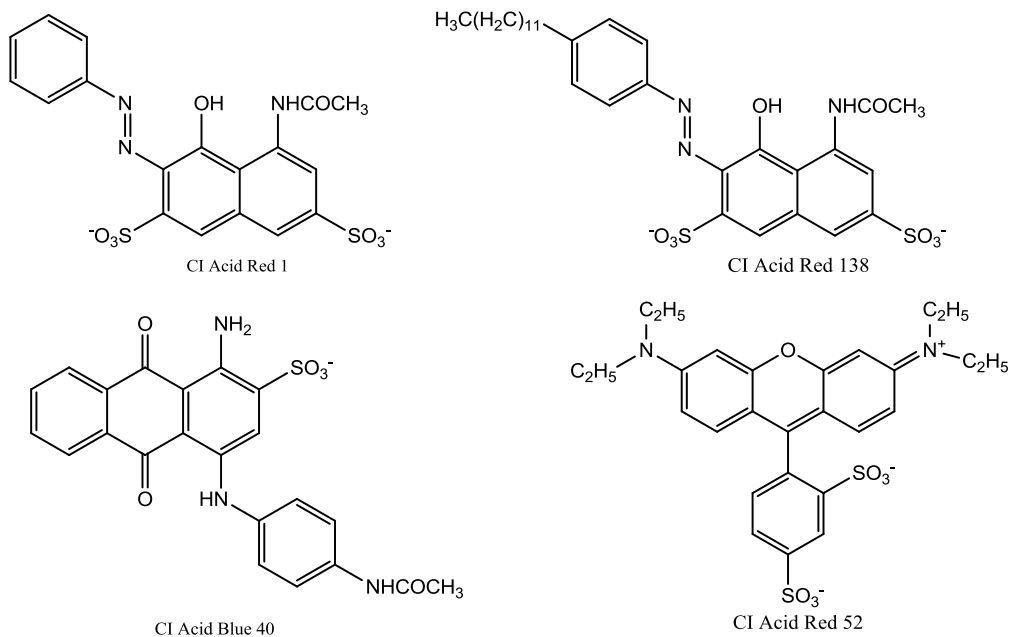


**Figura 12.** Struttura secondaria di cheratina e fibroina

Sia seta che lana possono degradarsi per idrolisi. La lana è molto sensibile e si idrolizza facilmente in ambiente basico, mentre in ambiente acido è più resistente e l'idrolisi si manifesta con acidi forti concentrati a caldo. La seta invece è molto più

resistente all'idrolisi sia acida che basica, la quale avviene con basi o acidi forti concentrate e ad alta temperatura.

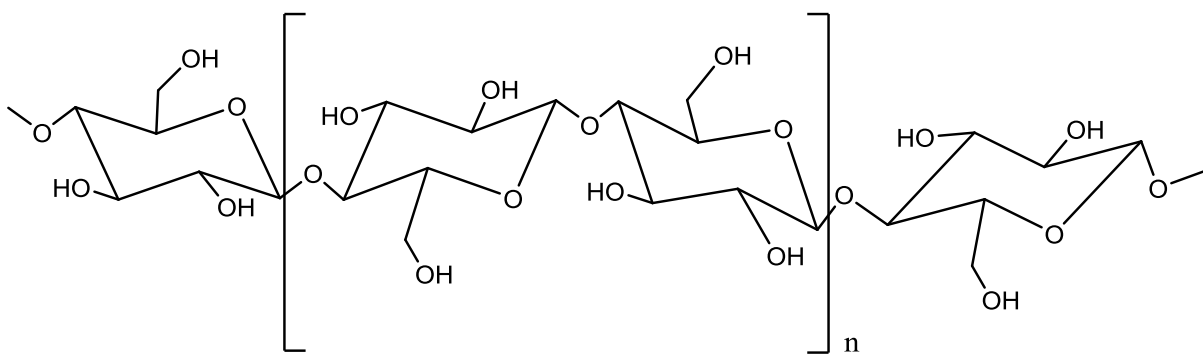
Il processo di colorazione di queste fibre proteiche viene industrialmente condotto utilizzando coloranti acidi (Figura 13). Tali coloranti sono anionici e interagiscono principalmente con le fibre formando legami ionici e ad idrogeno. Infatti la colorazione di queste fibre viene generalmente condotta in un range di pH compreso tra 2 e 5 in modo tale da avere un'elevata concentrazione di ioni ammonio sulla fibra proteica.



**Figura 13.** Costituzione chimica di alcuni tipici coloranti acidi

Ma alcuni coloranti acidi, con caratteristiche maggiormente idrofobiche (ad esempio con solo un gruppo solfonico sulla molecola), vengono utilizzati anche in ambienti leggermente alcalini in un range di pH tra 7 e 9,5, nonostante le fibre posseggano più gruppi anionici per la presenza maggioritaria di ioni carbossilato rispetto agli ioni ammonio. In queste condizioni si instaurano legami ad idrogeno, ma soprattutto interazioni dipolari e forze di dispersione tra il colorante e appropriati gruppi sulle catene proteiche. Infatti lana e seta sono caratterizzate da regioni idrofobe che instaurano anche interazioni idrofobiche con le molecole di colorante. Il loro processo di colorazione viene condotto generalmente a 80-90 °C, anche se per quanto riguarda la lana, a causa dell'infeltrimento, la colorazione viene condotta a temperature più basse comprese tra 40 e 60 °C.

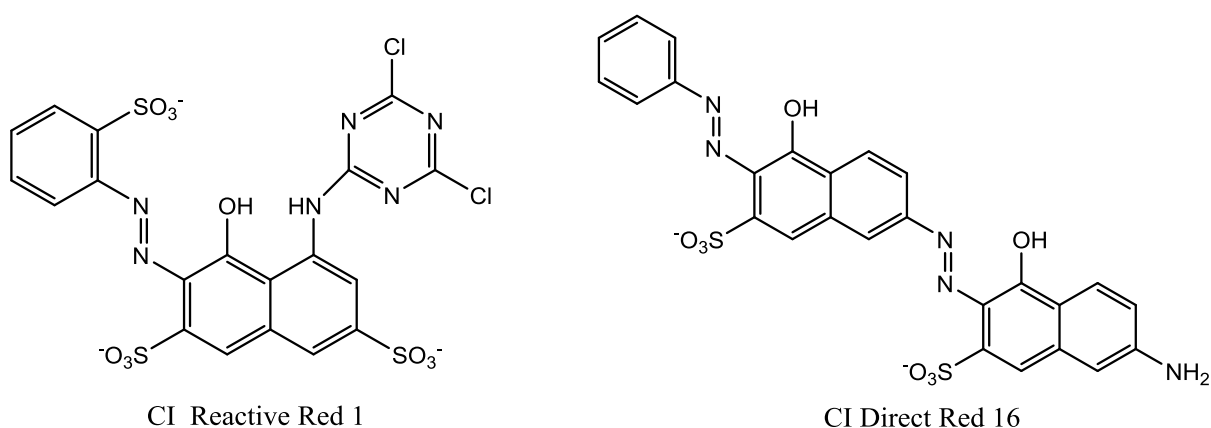
A differenza dei substrati naturali sopra descritti il **cotone** è caratterizzato da fibre di origine vegetale. Esse sono costituite principalmente di cellulosa, derivante dalla polimerizzazione del glucosio con legame 1,4  $\beta$ -glicosidico (Figura 14). La cellulosa è un polialcol, ma il forte legame ad idrogeno tra i gruppi idrossilici delle molecole del polimero non possono facilmente essere rotti, anche in presenza di acqua, infatti l'acqua non penetra nelle regioni compatte e cristalline della cellulosa rendendola insolubile. Queste regioni si sviluppano come conseguenza della struttura del polimero che, essendo lineare, permette alle molecole di interagire a stretto contatto tra di loro. Comunque, il cotone è relativamente idrofilico in quanto l'acqua penetra facilmente nelle zone amorfe del polimero dove possono facilmente formarsi legami a idrogeno con i gruppi idrossilici liberi della cellulosa. Per cui la parte cristallina del cotone è responsabile delle buone proprietà meccaniche del polimero, mentre la parte amorfa è responsabile del carattere idrofilico e assorbente. La cellulosa mostra stabilità nei confronti di forti ambienti alcalini, anche ad alta temperatura. Ma è sensibile agli ambienti fortemente acidi, in quanto catalizzano l'idrolisi del polimero. Inoltre è sensibile al calore e imbrunisce come lo zucchero quando lo si scalda. L'imbrunimento diventa importante a circa 150 °C.



**Figura 14.** Struttura chimica della cellulosa

La colorazione del cotone, ed in generale delle fibre cellulosiche, avviene mediante coloranti diretti e reattivi (Figura 15). I coloranti diretti sono fra i meno costosi e ricoprono una vasta gamma di tinte. Il loro principale svantaggio è la poca resistenza al lavaggio e perciò il loro utilizzo è stato via via sempre meno frequente a discapito dei coloranti reattivi. Il gruppo principale di coloranti che costituiscono la classe dei coloranti reattivi è l'azo solfonato. Questi coloranti possono essere bis-, tris-, o tetra-azocomposti e sono caratterizzati da strutture molecolari coplanari. Anche se i

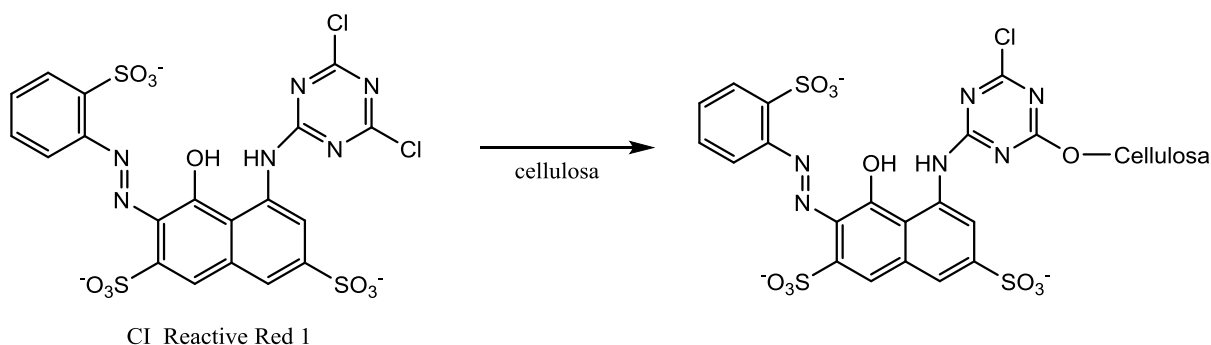
coloranti diretti hanno una struttura simile a quella dei coloranti acidi, essi generalmente hanno pesi molecolari più elevati e strutture maggiormente coplanari. Nonostante ciò non c'è una chiara differenza tra coloranti acidi e diretti. Infatti alcuni coloranti diretti colorano le fibre proteiche, mentre alcuni coloranti acidi colorano il cotone.



**Figura 15.** Esempi di coloranti commerciali reattivi e diretti

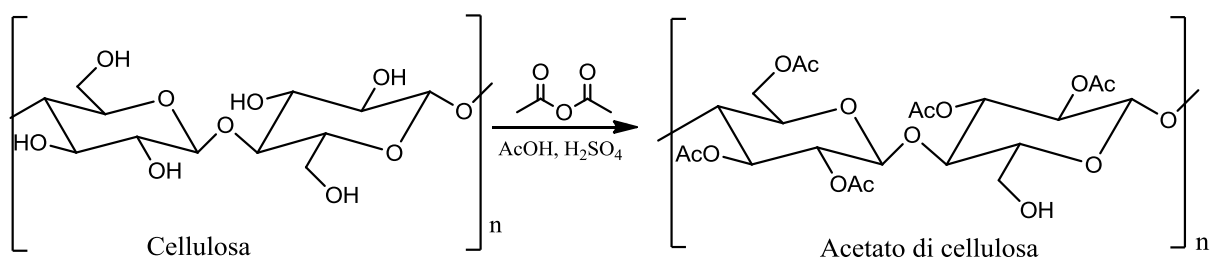
La colorazione del cotone con i coloranti diretti avviene in soluzioni neutre ed in presenza di elettroliti ( $\text{NaCl}$  o  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) i quali hanno lo scopo di aumentare l'esaurimento del colorante nel bagno, fungendo da controione positivo alla superficie di cotone, che è negativa quando immersa in acqua (quando le due fasi vengono a contatto si sviluppa una differenza di potenziale dovuta alla differente capacità elettrone-attrattrice di una rispetto all'altra). Ciò fa sì che non ci sia repulsione tra il colorante (anionico) e la superficie della fibra, permettendone l'adsorbimento. Il processo si svolge a temperature di  $100\text{ }^\circ\text{C}$  ad ebollizione.

I coloranti reattivi danno migliori resistenze al lavaggio, rispetto ai coloranti diretti, in quanto formano legami covalenti con la fibra piuttosto che interazioni ad idrogeno o intermolecolari (Schema 11). La colorazione di solito avviene come per i coloranti diretti (in condizioni neutre con la presenza di elettroliti). In teoria è possibile aumentare il pH della soluzione, in quanto la condizione alcalina aumenta gli ioni idrossilato sulla cellulosa, che sono più reattivi verso la reazione di sostituzione o addizione nucleofila sul colorante. Ma la presenza di ioni idrossilato sul cotone può idrolizzare il colorante, incapace poi di reagire con la fibra. L'idrolisi del colorante è lenta rispetto alla reazione con la fibra ma è significativa e riduce l'efficienza del processo. Il pH perciò viene aumentato in base alla reattività del colorante.



**Schema 11.** Sostituzione nucleofila di un colorante reattivo con la cellulosa

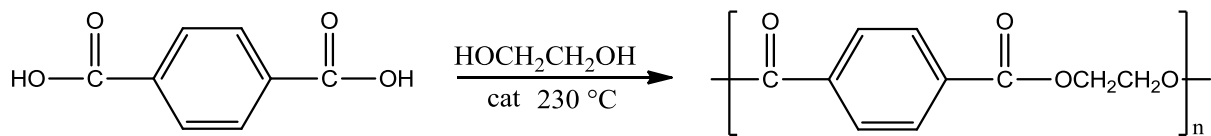
Tra i substrati sintetici l'**acetato** è stato il primo realizzato nella storia. L'acetato non è altro che l'estere della cellulosa nel quale la maggior parte dei gruppi ossidrilici (77-80%) vengono esterificati per reazione con anidride acetica e acido acetico in presenza di acido solforico come catalizzatore (Schema 12).



**Schema 12.** Acetilazione della cellulosa

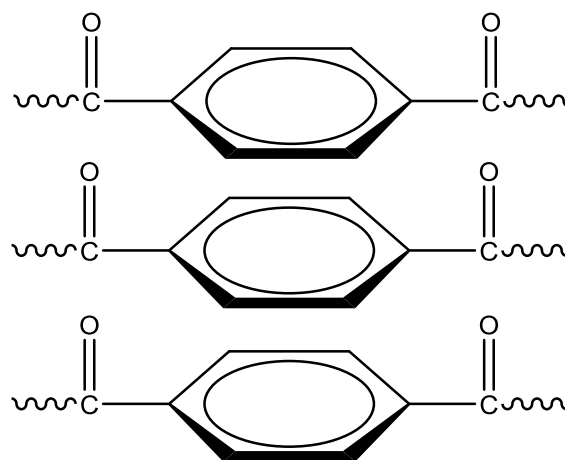
A causa dell'acetilazione le fibre del substrato sono meno idrofiliche e non si espandono a contatto con l'acqua, ma bagnate ad alta temperatura, come accade nel processo di colorazione, perdono le proprietà meccaniche e diventano facilmente deformabili. Le fibre dell'acetato sono resistenti a soluzioni diluite di acidi, ma sono sensibili alle soluzioni alcaline, che ne causano l'idrolisi specialmente ad elevate temperature.

Il **poliestere** è un substrato sintetico caratterizzato da fibre costituite da un polimero lineare. La maggior parte delle fibre poliestere sono costituite di PET, ottenute da una reazione di policondensazione catalizzata tra l'acido tereftalico o il dimetil tereftalato e il glicole etilenico (Schema 13).



**Schema 13.** Sintesi del PET

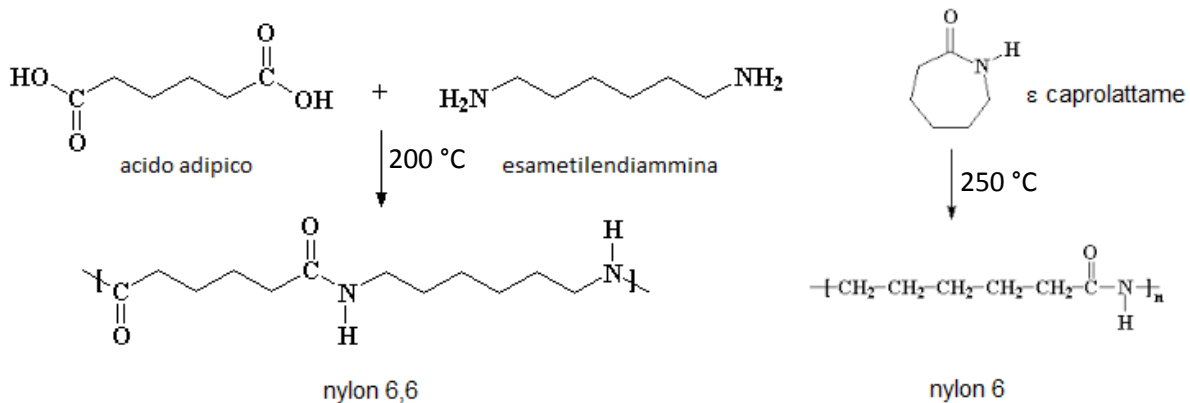
Le fibre poliestere sono caratterizzate da buone proprietà meccaniche, in particolare con elevata resistenza alla deformazione e all'abrasione. Tali proprietà vengono principalmente impartite dalle zone cristalline del polimero, che si creano grazie alle forti interazioni intercatena. La presenza di gruppi polari favorisce la cristallinità a causa dell'instaurarsi di forze dipolo-dipolo, che mantengono le fibre poliestere in una struttura compatta (Figura 16). Le fibre sono molto idrofobiche, perciò assorbono quantità piccolissime di acqua e a differenza dell'acetato le proprietà meccaniche non cambiano quando le fibre vengono bagnate. L'idrolisi del poliestere avviene quando viene esposto ad acidi o basi forti a temperature elevate, maggiori di 100 °C, risultando pertanto più resistente rispetto all'acetato.



**Figura 16.** Interazioni intercatena tra le fibre poliestere

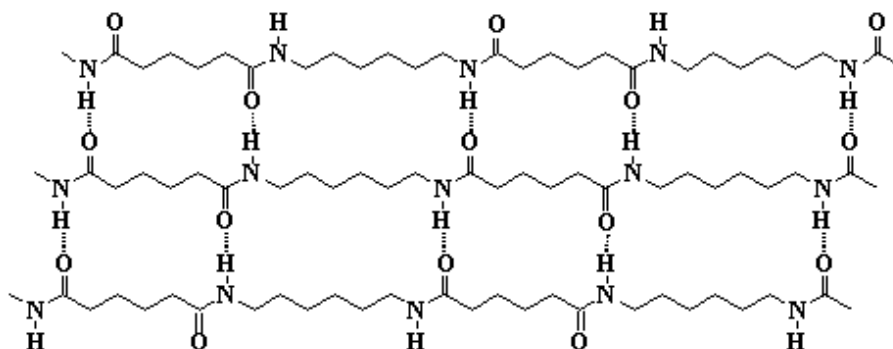
Infine la **poliammide** è il substrato sintetico che più si avvicina alle caratteristiche dei substrati proteici, essendo le sue fibre costituite da polimeri caratterizzati dal legame ammidico. Il nylon è la poliammide più conosciuta ed è quella principalmente utilizzata nel settore tessile. Si può sintetizzare industrialmente per reazione di policondensazione tra una diammina e un diacido o per polimerizzazione di un  $\omega$ -amminoacido ciclico (Schema 14).





**Schema 14.** Polimerizzazione del nylon 6,6 e del nylon 6

Come il poliestere, la poliammide presenta ottime proprietà meccaniche grazie alle forti interazioni intercatena, che consistono in legami ad idrogeno (Figura 17) e che favoriscono la formazione di zone cristalline. Tali legami tra le catene formano una struttura molto compatta simile a quella vista per la fibroina.



**Figura 17.** Interazioni intercatena tra le fibre di una poliammide

La poliammide, a causa della presenza del gruppo ammidico, assorbe l'acqua e ciò influisce sulla sua rigidità.

Il processo di colorazione delle fibre sintetiche si effettua utilizzando come coloranti i *disperse dyes*. Tali coloranti instaurano con le fibre principalmente interazioni idrofobiche, forze di Van Der Waals e legami ad idrogeno. La colorazione in genere viene effettuata ad elevata temperatura, sopra i 130 °C per il poliestere, tra 85 e 100 °C per la poliammide e tra 80 e 85 °C per l'acetato. La temperatura è più alta per il poliestere poiché sotto i 100 °C il processo di diffusione del colorante nelle fibre è molto lento a causa di una struttura maggiormente chiusa in acqua rispetto ad

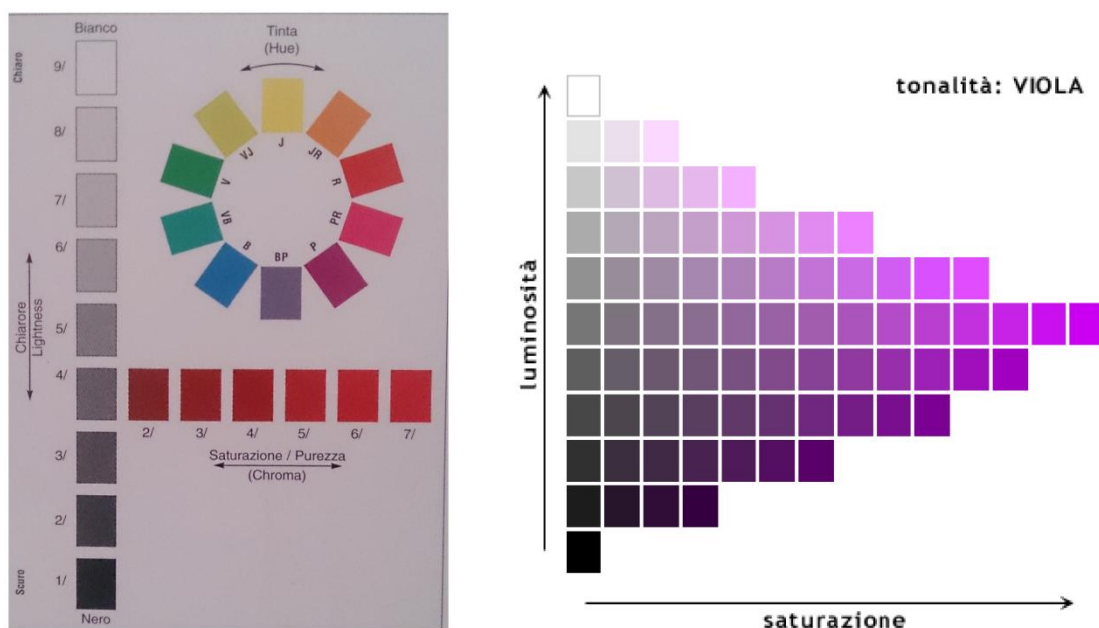
acetato e poliammide. Il pH del bagno di tintura viene generalmente mantenuto tra 5,5 e 6,5 per evitare che alle alte temperature di esercizio avvenga l'idrolisi dei substrati.

## 2.5 COLORE E COLORIMETRIA<sup>31</sup>

Il colore non è un fenomeno fisico o chimico, ma è una sensazione, una percezione e a differenza della luce e della materia che sono realtà fisiche, è un'interpretazione cerebrale dell'osservatore. La sensazione visiva che induce l'osservazione di un colore può essere razionalizzata suddividendola in tre concetti fondamentali (Figura 18):

- **La Tinta (*hue*):** rappresenta la sensazione visiva che permette l'attribuzione dei colori (viola, giallo, arancio, blu, verde, rosso ecc.).
- **La Saturazione (*chroma*):** permette di valutare la purezza di un colore e ci consente di attribuirne la pienezza determinando il carattere più o meno colorato di un corpo in contrasto con il bianco (acromatico) che per definizione è privo di ogni tinta pura.
- **La Luminosità (*lightness*):** indica il carattere più o meno chiaro della superficie del corpo osservato, ed è legata alla capacità della superficie di trasmettere o di riflettere una frazione della luce incidente più o meno grande.

L'insieme di queste tre "grandezze" permette di individuare, in un ipotetico spazio dove sono racchiusi tutti i possibili colori, un solo e unico colore.



**Figura 18.** I tre fattori della percezione visiva: tinta, saturazione, luminosità

Il colore non è un fenomeno semplice, infatti può essere considerato come un'elaborazione delle informazioni visive raccolte dall'occhio ed elaborate dalla corteccia cerebrale; questa elaborazione, allo stato attuale, ancora non è completamente conosciuta ed è diversa da individuo ad individuo.

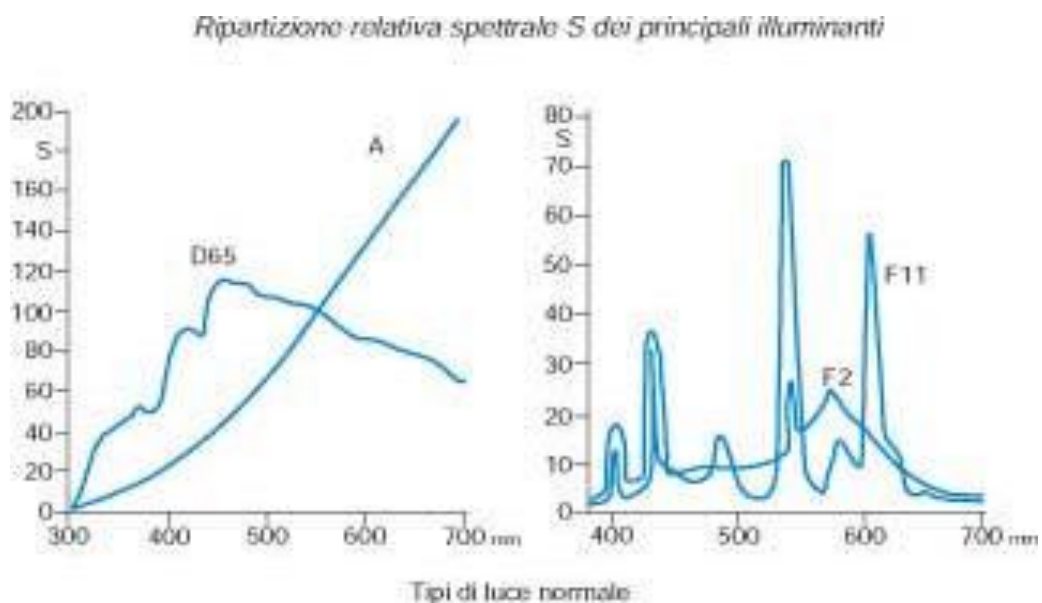
In un sistema produttivo, dove il colore rappresenta un elemento fondamentale ed un grandissimo valore aggiunto, la soggettività della sua misura, così come è possibile per la semplice osservazione visiva, costituisce una forte limitazione. Per sopperire a tale situazione da alcuni decenni si è cercato di misurare in maniera strumentale il fenomeno fisico alla base della generazione della sensazione del colore e successivamente di elaborare modelli matematici sempre più sofisticati che tendessero a riprodurre in termini numerici le sensazioni visive indotte da un oggetto su un ipotetico *“occhio o osservatore standard”*. L'introduzione di elaboratori sempre più veloci, accoppiata a strumenti di rilevazione fisica delle radiazioni assorbite e riflesse da un corpo (spettrofotometri) ha fatto sì che la misura obiettiva del colore (colorimetria) diventasse in questi ultimi anni il mezzo più utilizzato a livello industriale per la catalogazione, riproduzione e controllo qualità di materiali colorati.

### **2.5.1 Il sistema sorgente-campione-osservatore**

Alla base della generazione della sensazione di un colore deve essere sempre presente un sistema costituito da tre elementi fondamentali: una fonte di illuminazione, un oggetto che interagisce con tale fonte e chi osserva il risultato di tale interazione, che nel caso dell'osservazione visiva è costituito dal sistema occhio-corteccia cerebrale, mentre nella colorimetria strumentale l'osservatore è costituito dal sistema spettrofotometro-software.

L'occhio è sensibile a quella che viene chiamata luce visibile, composta da una serie di radiazioni elettromagnetiche con lunghezze d'onda che variano dai 380 ai 720 nm. Questo range di lunghezze d'onda è quello che normalmente è contenuto nella luce bianca, la quale può provenire sia da una fonte naturale come il sole, che artificiale come una lampadina al tungsteno o fluorescente. La luce bianca può essere divisa nei suoi componenti, ad esempio utilizzando un prisma, e vedere i vari colori che la costituiscono come si vede nell'arcobaleno: il rosso, l'arancione, il giallo, il verde, il blu e il violetto sono corrispondenti a radiazioni con lunghezze d'onda rispettivamente di circa 650, 600, 575, 525, 460 e 420 nm. Essendo il colore di un materiale influenzato dalla fonte di emissione di radiazioni, l'avvento della

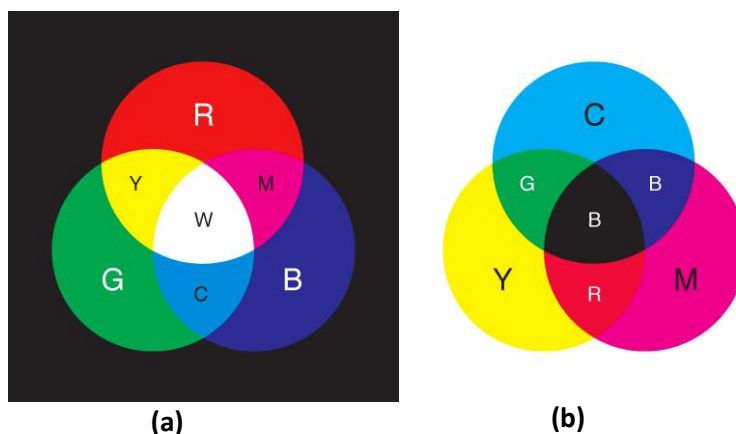
colorimetria strumentale ha reso indispensabile la definizione di condizioni normalizzate di emissioni di radiazioni e cioè di illuminanti standard. La loro definizione è stata formulata partendo dalle caratteristiche di distribuzione spettrale di energia luminosa vicine alle sorgenti di luce naturale (Figura 19). I principali illuminanti, normalizzati dalla CIE (*Commission Internazionale de l'Eclairage*) sono il D65, che simula la luce diurna, l'A, che simula una lampada ad incandescenza, l'F11 e l' F2, che simulano una lampada fluorescente.



**Figura 19.** Ripartizione spettrale relativa S dei principali illuminanti

Quando un oggetto interagisce con la fonte luminosa, assorbe luce di un dato colore corrispondente ad una particolare lunghezza d'onda e il colore che viene osservato è il suo complementare, ovvero quello dovuto alle restanti lunghezze d'onda della luce incidente che sono state trasmesse o riflesse, e che poi vengono rilevate dall'occhio. Per definire e specificare il colore che si osserva è fondamentale comprendere le leggi della mescolanza del colore, ovvero i processi in cui due o più colori vengono combinati per produrre nuovi colori. Essi sono principalmente di due tipi: la mescolanza additiva e quella sottrattiva. La prima consiste nella combinazione di luci colorate, con la fonte di illuminazione risultante che viene direttamente osservata dall'occhio. L'esempio classico è quello di due fasci di luce colorata (per esempio rossa e verde), proiettati sulla parete bianca di una stanza scura in modo che si sovrappongano. I due stimoli luminosi (quello della luce rossa e quello della luce

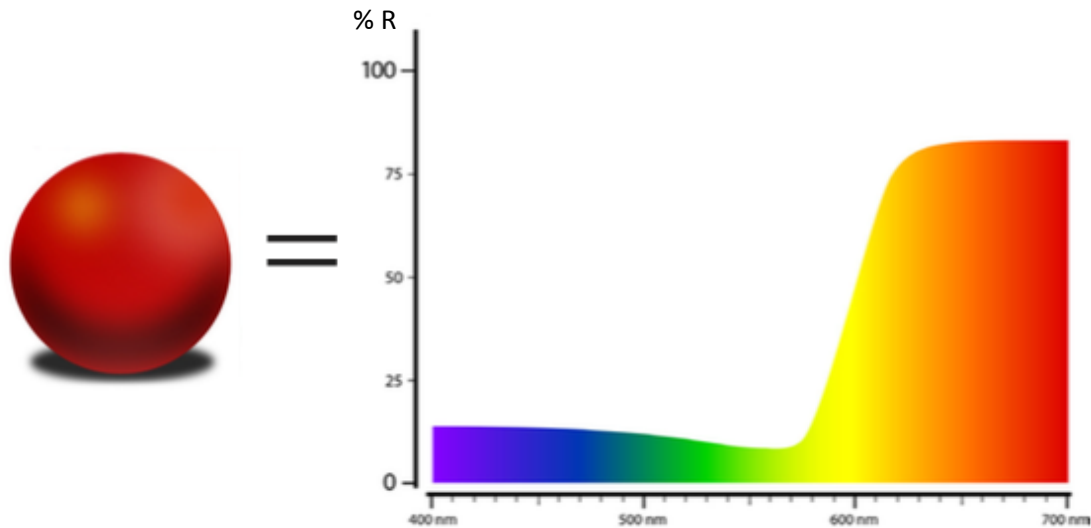
verde) vengono riflessi dalla parete e giungono simultaneamente e immutati all'occhio. I colori rosso, verde e blu sono detti colori primari additivi in quanto essi non possono essere ottenuti dalla mescolanza di altre luci colorate, ma la loro combinazione, nelle dovute proporzioni, produce tutti gli altri colori (Figura 20(a)). La mescolanza sottrattiva, invece, si osserva quando i colori risultanti vengono osservati come risultato della riflessione o trasmissione attraverso un oggetto dopo che esso ha interagito con la luce bianca. L'esempio classico è quello della sovrapposizione di due inchiostri, per esempio inchiostro giallo sovrapposto ad inchiostro ciano, su un foglio bianco. In questo caso i due strati di inchiostro si comportano come filtri per la luce. L'inchiostro giallo assorbe una parte della luce, la parte rimanente attraversa l'inchiostro ciano che ne assorbe un'altra parte, la restante parte viene riflessa dalla carta bianca e costituisce lo stimolo di colore che arriva al nostro occhio. I colori sottrattivi primari sono giallo, magenta e ciano (Figura 20(b)) e sono i tre inchiostri che costituiscono le cartucce del colore delle stampanti, dalla cui combinazione si ottengono tutti i colori. E' quindi possibile capire, ad esempio, che quando un oggetto assorbe la luce blu (435-480 nm) esso apparirà giallo, poiché i componenti rosso e verde vengono trasmessi o riflessi. Se invece tutte le lunghezze d'onda della fonte luminosa vengono riflesse dall'oggetto esso apparirà bianco, viceversa se tutte vengono assorbite apparirà nero. Invece se l'oggetto assorbe una frazione costante della luce visibile esso apparirà grigio.



**Figura 20.** (a) mescolanza additiva; (b) mescolanza sottrattiva

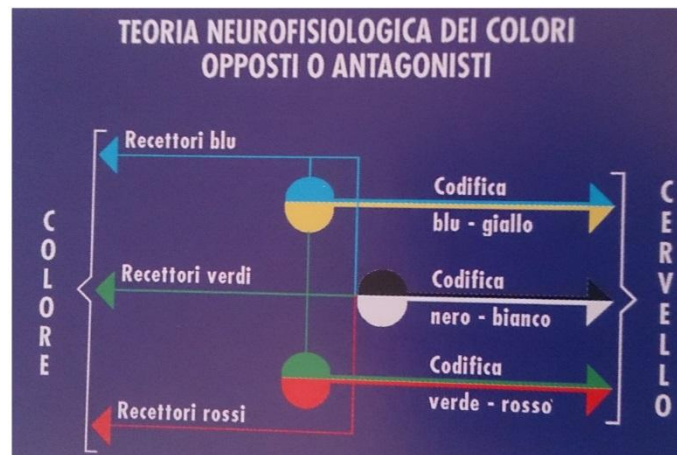
L'esecuzione di un'analisi obiettiva di tipo puramente fisico di questi fenomeni viene effettuata, misurando tramite gli spettrofotometri, l'energia luminosa trasmessa o riflessa da un oggetto per ogni lunghezza d'onda del visibile. Le curve risultanti da quest'analisi sono delle curve spettrali che riportano nelle ascisse le lunghezze

d'onda e nelle ordinate la percentuale di radiazione riflessa (riflettanza %) o trasmessa (trasmittanza %) rispetto a quella incidente (Figura 21).



**Figura 21.** Esempio di spettro in riflettanza di un oggetto rosso

Lo stadio finale per la generazione della percezione visiva del colore è costituito dal sistema occhio – corteccia cerebrale. La neurofisiologia dell'occhio e del sistema visivo evidenzia che gli organi recettori responsabili della visione sono collocati nella retina dell'occhio; in detta posizione sono alloggiati i coni ed i bastoncelli. Di questi elementi, i coni, sono responsabili della visione diurna (fotopica), sono cioè sensibili alla percezione dei colori, mentre i bastoncelli sono responsabili della visioni notturna (scotopica) e sono sensibili soprattutto alla variazioni di luminosità. Questi elementi (120 milioni di coni e 7 milioni di bastoncelli) hanno tutti la stessa sensibilità; i coni sono preferenzialmente raggruppati in una zona della retina chiamata "fovea" e sono suddivisi in tre grandi categorie a seconda della loro massima sensibilità. Le tre serie (sensibilità ai blu, ai verdi ed ai rossi) presentano i massimi di sensibilità rispettivamente a 477, 540 e 577 nm. La loro distribuzione media è di 40 verdi, 20 rossi ed 1 blu. Questa situazione fisiologica ha permesso di indicare che la percezione del colore è legata alla presenza di tre tipi di recettori nella retina, le cui risposte vengono convertite dal sistema retina – nervo ottico, in tre nuove serie di segnali, coppie antagoniste o opposte del tipo: bianco/nero; rosso/verde; giallo/blu (Figura 22).



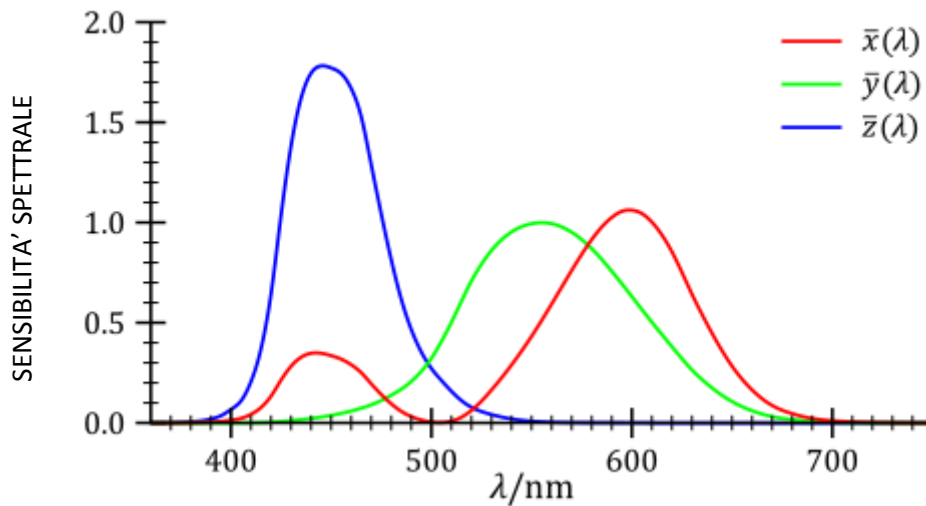
**Figura 22.** Teoria Neurofisiologica dei colori opposti o antagonisti

La presenza di tre gruppi di segnali provenienti dal fondo dell'occhio umano è alla base dell'approccio scientifico e strumentale della misurazione del colore.

Al fine di standardizzare questi stimoli, la CIE ha attribuito alle funzioni colorimetriche dell'occhio dei valori numerici e li ha utilizzati per la definizione di un "osservatore standard". L'osservatore standard è di fatto costituito da una serie di dati riferiti ad un osservatore umano medio e normale, e non ad un particolare osservatore realmente esistente. Per determinare queste funzioni colorimetriche è stato effettuato un esperimento di sintesi additiva, che per la prima volta fu fatto nel 1923, dove sono state studiate le modalità con cui 10 osservatori campione modulavano tre luci colorate (rossa, verde e blu) per riprodurre una luce di un qualsiasi colore proiettata in uno schermo bianco.

A partire dalle funzioni tricromatiche reali (rosso, verde, blu) e operando una semplificazione dei calcoli, necessari per definire in maniera standardizzata un colore, la CIE sviluppò alcune trasformazioni matematiche, arrivando così ad individuare tre nuove luci standard  $x$ ,  $y$ ,  $z$  e dalle quali fu possibile ottenere un insieme di funzioni, dette funzioni colorimetriche CIE ( $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ ), che rappresentano funzioni medie di un osservatore standard immaginario (Figura 23). L'osservatore standard era basato su un esperimento che utilizzava un angolo solido di osservazione di  $2^\circ$  per determinare una risposta media dell'osservatore umano, ma i risultati non erano perfettamente conformi all'osservazione visiva relativamente alle onde corte (in particolare il violetto). Successivamente la CIE propose un osservatore

standard supplementare sotto un angolo solido di 10° per permettere di ottenere una migliore correlazione con il giudizio visivo.



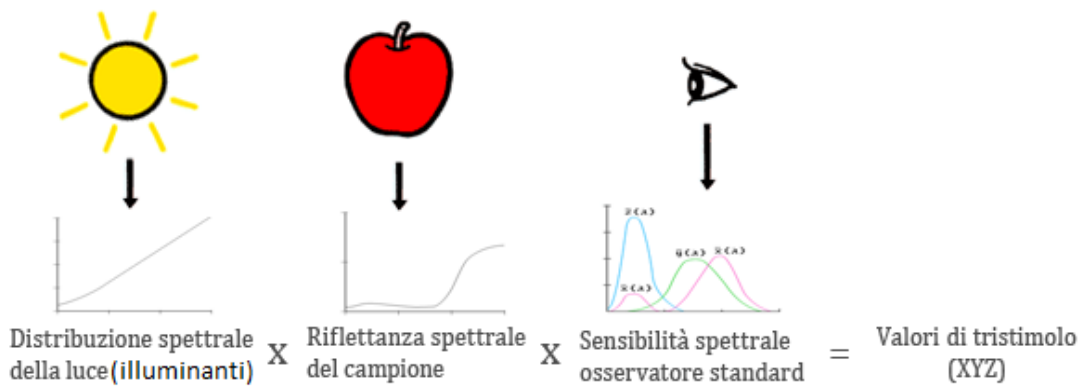
**Figura 23.** Funzioni colorimetriche medie di un osservatore standard immaginario

L'utilizzo di queste funzioni colorimetriche, attribuite all'osservatore standard, permette di trasformare una curva spettrale in tre valori numerici detti valori tristimolo (X, Y, Z), utilizzati per definire univocamente il colore di un campione o di una luce colorata. Il calcolo dei valori tristimolo per corpi colorati si effettua moltiplicando, per ogni lunghezza d'onda su tutto l'intervallo del visibile, il valore dell'energia della sorgente a quella lunghezza d'onda (S), diminuito del valore di riflettanza di quel corpo (R) alla stessa lunghezza d'onda, per il valore della relativa funzione colorimetrica ( $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ , oppure  $\bar{z}$ ) (Figura 24). La formula per il calcolo del valore tristimolo (X) può essere così descritta:

$$X = \sum_{380}^{720} S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

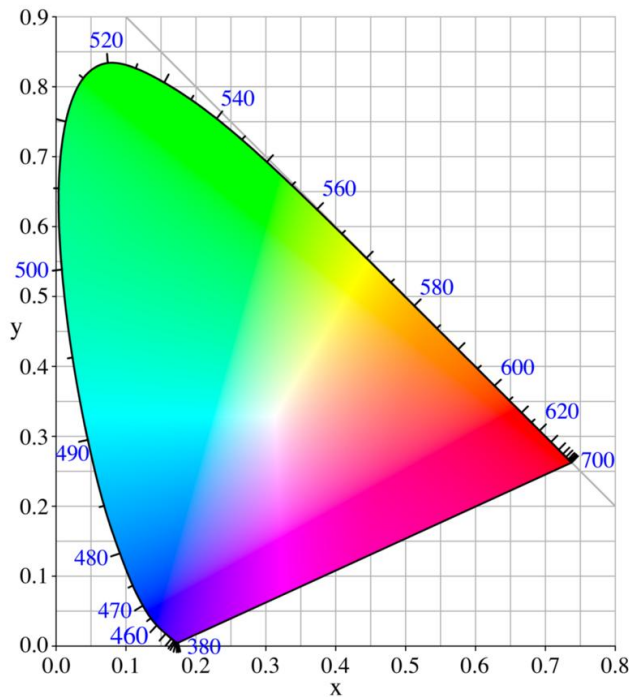
Analogamente per i valori tristimolo Y e Z.





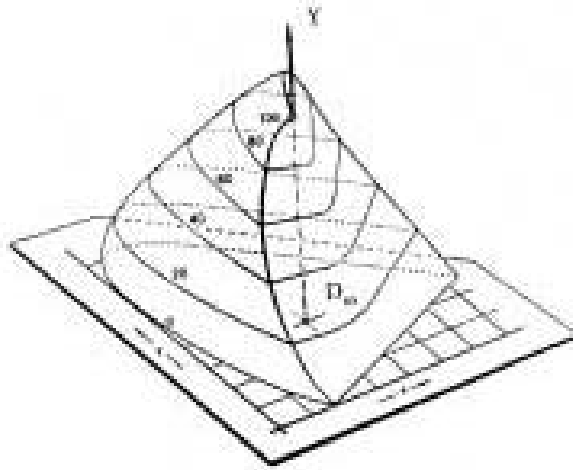
**Figura 24.** Procedimento di calcolo dei valori tristimolo

I valori tristimolo X, Y, Z attribuiti ad un singolo colore permettono di individuare solo quel colore con grande accuratezza; purtroppo la correlazione tra il dato matematico e la sensazione visiva del colore è spesso molto difficile. Tutto ciò avviene perché, anche se il valore Y è correttamente associabile alla sensazione di chiarezza del colore, altrettanto non possiamo dire per l'associazione dei valori X e Z alla sensazione di tinta (*hue*) e di saturazione (*chroma*). Quindi per illustrare le disposizioni dei colori la CIE raccomandò di identificare separatamente gli aspetti cromatici di un colore dalla luminosità. Per fare ciò si impiegarono le coordinate cromatiche x, y per precisare la cromaticità dei colori e la rappresentazione grafica si concretizzò in un diagramma bidimensionale con assi x e y che definì uno spazio a forma di ferro di cavallo chiamato triangolo dei colori CIE all'interno del quale sono descritti tutti i possibili colori presenti nella luce (Figura 25).



**Figura 25.** Diagramma di cromaticità CIE 1931; le coordinate cromatiche sono così definite:  $x = \frac{X}{X+Y+Z}$ ;  $y = \frac{Y}{X+Y+Z}$  con X,Y,Z che corrispondono ai valori tristimolo.

Un qualsiasi colore contenuto all'interno del triangolo può perciò essere descritto indicando i due valori numerici delle coordinate x e y che coincidono con il punto colore. Il piano individuato dal triangolo dei colori è costituito da una superficie a luminosità costante, e pertanto non potrebbero esistere due colori con le stesse coordinate cromatiche (x e y), ma tenendo conto che la grandezza Y (valore tristimolo Y) si sviluppa in senso perpendicolare al triangolo dei colori, possiamo ritenere che due colori possono essere caratterizzati dalle stesse coordinate x, y, ma diverso valore di luminosità Y. Così si può costruire uno spazio con una serie di triangoli cromatici sovrapposti e ciascuno caratterizzato da una propria luminosità. All'aumentare della luminosità, diminuisce la saturazione possibile dei colori puri con la conseguente diminuzione della superficie del triangolo cromatico (Figura 26).



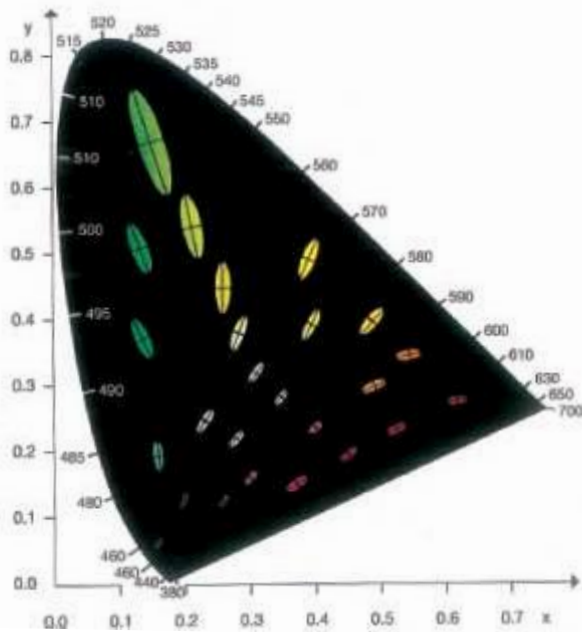
**Figura 26.** Spazio colore di una serie di triangoli cromatici sovrapposti a luminosità costante

L'osservatore standard basato sui valori tristimolo è il CIE 1931 che costituisce il sistema colorimetrico su cui si basa la colorimetria moderna e da cui sono stati elaborati i sistemi attualmente utilizzati.

### **2.5.2 Spazio colore a cromaticità costante e sistema CIELab**

Lo spazio colore sopra descritto ( $x, y, Y$ ) presenta però lo svantaggio di non essere euclideo; ciò non permette di esprimere le differenze di colore tra due punti in termini semplici, in altre parole le distanze geometriche esistenti tra due punti (due colori) posti all'interno dello spazio non sono proporzionali alle differenze di colore osservate. Le disomogeneità esistono sia nella scala delle  $Y$  che nel piano  $x, y$ . Tale situazione è stata studiata da Mac Adam che rappresentò la non uniformità ponendo i colori al centro, ed individuando uno spazio attorno a quel punto (colore) dove i colori non risultano visivamente distinguibili. Lo spazio di colore uniforme (non riconoscibile) è costituito in ogni punto del triangolo dei colori CIE da un'ellisse di dimensioni diverse a seconda del colore posto al centro dell'ellisse stesso (Figura 27). La disomogeneità è evidente, perché la soglia di percettibilità non è per ogni punto cromatico (colore) un cerchio di uguale raggio, ma è costituita da un'ellisse i cui semiassi sono diversi a seconda della zona del triangolo colore dove è posizionato il colore.

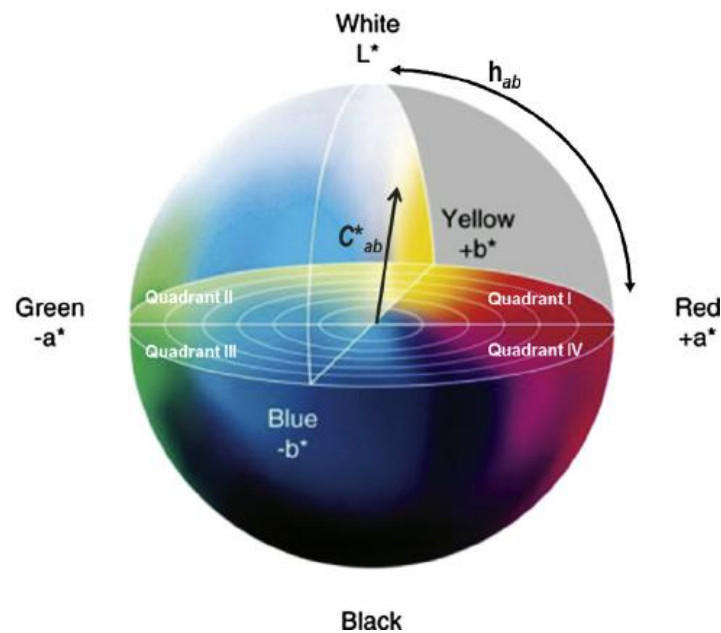
La necessità di definire dei limiti di tolleranza nella riproduzione dei colori ha perciò indotto a ricercare altre forme geometriche che meglio si prestassero alla rappresentazione dei colori in uno spazio a cromaticità uniforme.



**Figura 27.** Visualizzazione della non uniformità dello spazio colore CIE 1931

Nel 1976 la CIE raccomandò l'utilizzo del sistema CIELab, riservato allo studio dei colori delle superfici e degli oggetti ed è tutt'oggi il sistema a cromaticità costante più utilizzato nelle moderne applicazioni della colorimetria e che è stato utilizzato per ricavare i dati colorimetrici di questo lavoro di tesi. Lo scopo dell'introduzione del sistema CIELab, oltre a quello di utilizzare uno spazio a cromaticità costante nelle differenze dei colori è stato anche quello di introdurre un sistema più semplice per la rappresentazione obiettiva della sensazione colore. Nel sistema CIELab si ritrova il metodo di individuazione dei colori che riprende la teoria delle tre coppie antagoniste: bianco/nero, rosso/verde, e giallo/blu. E' possibile, attraverso delle formule di trasformazione, calcolare lo spazio CIELab partendo dai valori tristimolo X,Y,Z (CIE 1931). Inoltre il sistema CIELab possiede le proprietà di uno spazio euclideo, ed in esso ognuno dei suoi punti può essere individuato dalle sue coordinate cartesiane o cilindriche (Figura 28). Le prime sono indicate da  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , dove  $L^*$  rappresenta la luminosità,  $a^*$  rappresenta la componente cromatica rosso-verde e  $b^*$  rappresenta la componente cromatica giallo-blu. Le seconde sono indicate da  $L^*$ , che rappresenta ancora la luminosità,  $C^*$  che rappresenta il croma o la saturazione e  $h^*$  che rappresenta l'angolo di tinta. Gli assi  $a^*$  e  $b^*$  descrivono il punto colore e si incrociano nel punto acromatico (intersezione degli assi) che può essere nero, grigio o bianco a seconda della luminosità: l'asse  $L^*$  della luminosità, interseca  $a^*$  e  $b^*$  nel punto

acromatico, e assume valori da 0 (nero) a 100 (bianco). I colori della stessa tonalità si trovano allineati nel piano  $a^*$ ,  $b^*$  su una retta passante dall'origine e l'angolo di rotazione  $h$  (in gradi), crescente dal rosso al giallo, è una misura della tonalità del colore ( $h= 0^\circ \rightarrow$  rosso;  $h= 90^\circ \rightarrow$  giallo;  $h= 180^\circ \rightarrow$  verde;  $h = 270^\circ \rightarrow$  blu). La distanza del punto colore rispetto al punto acromatico (intersezione degli assi) definisce la saturazione ( $C^*=chroma$ ).



**Figura 28.** La sfera CIELab

La ricerca di uno spazio colore uniforme ha anche lo scopo di consentire la valutazione delle differenze di colore mediante la misura delle distanze geometriche che separano i diversi punti colore situati in quello spazio. Così la distanza tra due punti colore verrà calcolata con una relazione matematica che terrà conto delle proiezioni spaziali dei punti su ciascuna delle tre variabili principali. Nel sistema CIELab la differenza totale di colore è data dalla grandezza  $\Delta E^*$  che integra le differenze delle tre variabili indipendenti, che per le coordinate cartesiane è:

$$\Delta E^* = [(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2]^{1/2}$$

dove  $\Delta L^*$  è la differenza di luminosità,  $\Delta a^*$  è la differenza di cromaticità sull'asse rosso-verde e  $\Delta b^*$  è la differenza di cromaticità sull'asse giallo-blu.

Il sistema CIELab perciò consente in maniera molto semplice di calcolare le differenze di colore e allo stesso tempo costituisce uno strumento adeguato per il controllo qualità, che permette la valutazione dell'uniformità del colore di un prodotto, in modo da essere conforme alle attese e alle necessità della clientela.

### 2.5.3 La misurazione strumentale del colore: lo spettrofotometro

Come già detto in precedenza, l'elemento strumentale che, in un sistema colorimetrico sostituisce l'occhio umano, è costituito dallo spettrofotometro.

Lo spettrofotometro è uno strumento in grado di misurare la quantità di radiazione che viene riflessa o trasmessa da un campione illuminato con una sorgente di luce. La valutazione viene eseguita per tutte le lunghezze d'onda caratteristiche dello spettro visibile e determina le curve spettrali dei campioni.

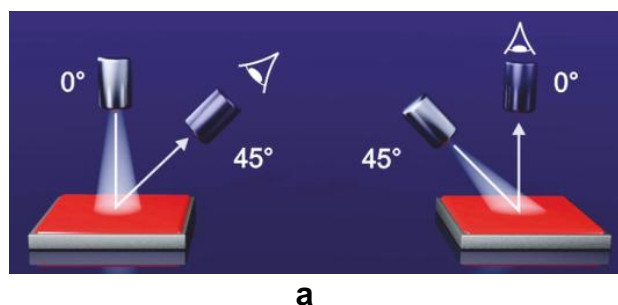
Gli spettrofotometri calcolano i valori tricromatici per qualsiasi illuminante o osservatore sulla base della distribuzione energetica di uno o più illuminanti (come A, D65, F etc.), delle risposte tricromatiche degli osservatori standard (scegliendo l'angolo di osservazione a  $2^\circ$  o  $10^\circ$ ) e della curva spettrale del campione.

Un importante parametro da scegliere quando si effettua una misura strumentale è la geometria ottica che si adotta. Le principali geometrie di misurazione utilizzate nella costruzione degli spettrofotometri sono:

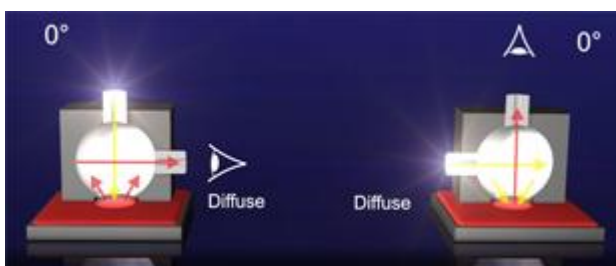
- **illuminazione orientata** (geometria  $45^\circ$ ): il campione viene illuminato con la sorgente posta a un angolo di  $45^\circ$ , mentre l'osservatore è posto a  $0^\circ$  rispetto alla perpendicolare al campione (geometria  $45^\circ/0$ ). Esiste anche la geometria inversa ( $0/45^\circ$ ), dove le posizioni tra osservatore e sorgente sono invertite (Figura 29a).
- **illuminazione diffusa**, esistono due varianti del sistema:
  - a. geometria ( $0^\circ/d$ ): l'illuminazione del campione avviene a  $0^\circ$  gradi e la rilevazione della luce globale riflessa dal campione avviene tramite una sfera integratrice (Figura 29b);
  - b. geometria ( $d/0^\circ$ ): l'illuminazione del campione avviene con la luce diffusa dalla sfera integratrice, mentre la rilevazione avviene con osservatore a  $0^\circ$  rispetto alla perpendicolare alla superficie del campione (Figura 29b).

Nella pratica il fascio di radiazioni incidente sul campione che raggiunge l'osservatore ha un angolo, rispetto alla perpendicolare al campione, che può variare tra  $2^\circ$  e  $8^\circ$  gradi (Figura 29c).

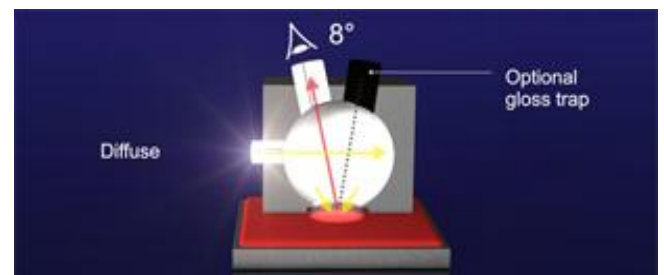
I campioni con superficie liscia e riflettente vengono generalmente trattati con la geometria a  $45^\circ$  perché in questo modo si riesce ad eliminare l'influenza della lucentezza. I campioni irregolari, come i materiali tessili, vengono in pratica misurati esclusivamente con la sfera integratrice, questo perché la misura così effettuata non risulta dipendente dalla struttura superficiale del campione. Questi strumenti, infatti, illuminano i campioni in modo diffuso e li osservano con un angolo generalmente di  $8^\circ$  (geometria  $d/0^\circ$ ). La componente di energia speculare (luminosità), è in questo caso compresa nella misura: questa infatti comprenderà sia il colore legato alla presenza del colorante che la luminosità del campione legata alle sue caratteristiche strutturali. La geometria ( $d/0^\circ$ ) permette di eliminare o integrare la componente di energia speculare con un adatto dispositivo. L'eliminazione della specularità viene generalmente utilizzata nella misura di campioni tessili.



a



b



c

**Figura 29.** a) Illuminazione orientata. b) illuminazione diffusa, c) illuminazione diffusa con angolo di osservazione di  $8^\circ$

### 3. SCOPO DELLA TESI

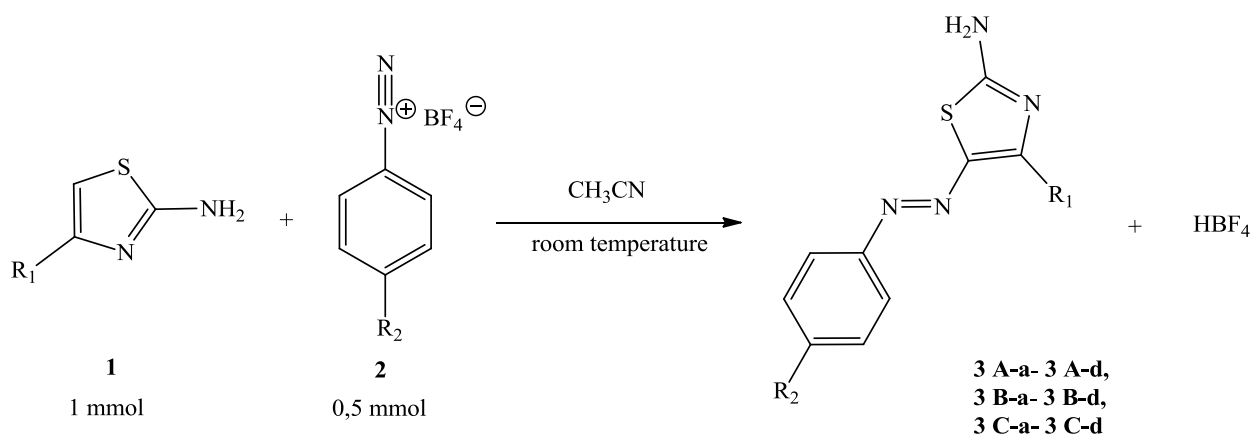
Fin ad ora i *disperse dyes* con anello tiazolico sono stati utilizzati solo per la colorazione di fibre sintetiche. In questo lavoro di tesi abbiamo voluto per la prima volta fare uno studio comparato sulle capacità di colorazione dei composti sintetizzati su diversi tipi di fibre, sia naturali che sintetiche, confrontando l'influenza sia dei sostituenti legati all'anello tiazolico che quelli legati all'anello benzenico (derivante dal sale di diazonio) sulle capacità coloranti di ogni azocomposto. A questo scopo è stata sintetizzata una serie di azocomposti a base tiazolica a partire da 2-amminotiazoli sostituiti, o non, in posizione 4, e sali di arildiazonio tetrafluoroborati.



## 4. RISULTATI E DISCUSSIONE

### 4.1 REAZIONE TRA 2-AMMINOTIAZOLI E SALI DI DIAZONIO

Gli azocomposti sintetizzati sono stati ottenuti tramite una reazione di azocopolazione, facendo reagire 2-amminotiazoli con sali di diazonio tetrafluoroborati. Sono stati impiegati 2-amminotiazoli con diverso sostituente legato in posizione 4 sull'anello tiazolico e sali di diazonio differentemente sostituiti sull'anello aromatico (Schema 15). I prodotti sono indicati d'ora in poi, a seconda dei casi, con i due acronimi definiti nello Schema 15. La reazione è stata condotta a temperatura ambiente, utilizzando acetonitrile come solvente. È stato utilizzato un rapporto 2-amminotiazolo/sale di diazonio 2:1, in quanto una parte del 2-amminotiazolo funge da base per neutralizzare  $\text{HBF}_4$  che si forma nell'ambiente di reazione. I prodotti precipitano dall'ambiente di reazione e per filtrazione si ottengono dei solidi colorati con buone rese (Schema 15). Esse sono state calcolate rispetto alle moli del sale di diazonio. L'unico prodotto ottenuto con resa moderata è stato il **3 A-b** (5-((4-methoxyphenyl)diazonyl)thiazol-2-amine), contenente il gruppo metossile, che verosimilmente gli conferisce una maggiore solubilità nel solvente di reazione. L'effetto del gruppo metossile è stato già osservato anche per azocomposti ottenuti facendo reagire 2-pirrolidintiazolo e p-metossilbenzenediazonio tetrafluoroborato.<sup>32</sup> L'identificazione dei prodotti è avvenuta mediante spettroscopia NMR e ESI-MS e la loro struttura corrisponde a quella indicata nello Schema 15. I prodotti sono ottenuti pressoché puri e questo aspetto rende molto semplice la conduzione della reazione, evitando ulteriori passaggi quali quello della purificazione cromatografica o della ricristallizzazione. In particolare non è stata riscontrata la presenza di prodotti di sostituzione all'azoto sia eso- che endociclico nonostante questi siano i centri nucleofili più reattivi<sup>8</sup>. Ciò è in accordo con quanto già riportato in un lavoro di tesi, elaborato dove ho svolto il tirocinio, nel quale sono state effettuate reazioni con 2-amminotiazoli 5-sostituiti che non hanno dato luogo ad alcun prodotto.<sup>33</sup> Di ogni composto sintetizzato sono stati calcolati i coefficienti di estinzione molare alla  $\lambda_{\text{max}}$ , riscontrando valori simili a quelli riportati in letteratura per azocomposti simili.<sup>30</sup>



$R_1 = \text{H, Ph, Me}$

$R_2 = 4\text{-Br, 4-OMe, 4-NO}_2, 4\text{-COOH}$

**1A:**  $R_1 = \text{H}$

**1B:**  $R_1 = \text{Ph}$

**1C:**  $R_1 = \text{CH}_3$

**2a:**  $R_2 = 4\text{-Br}$

**2b:**  $R_2 = 4\text{-OMe}$

**2c:**  $R_2 = 4\text{-NO}_2$

**2d:**  $R_2 = 4\text{-COOH}$

**3 A-a:**  $R_1 = \text{H, } R_2 = 4\text{-Br}$

**3 A-b:**  $R_1 = \text{H, } R_2 = 4\text{-OMe}$

**3 A-c:**  $R_1 = \text{H, } R_2 = 4\text{-NO}_2$

**3 A-d:**  $R_1 = \text{H, } R_2 = 4\text{-COOH}$

**3 B-a:**  $R_1 = \text{Ph, } R_2 = 4\text{-Br}$

**3 B-b:**  $R_1 = \text{Ph, } R_2 = 4\text{-OMe}$

**3 B-c:**  $R_1 = \text{Ph, } R_2 = 4\text{-NO}_2$

**3 B-d:**  $R_1 = \text{Ph, } R_2 = 4\text{-COOH}$

**3 C-a:**  $R_1 = \text{CH}_3, R_2 = 4\text{-OMe}$

**3 C-b:**  $R_1 = \text{CH}_3, R_2 = 4\text{-Br}$

**3 C-c:**  $R_1 = \text{CH}_3, R_2 = 4\text{-NO}_2$

**3 C-d:**  $R_1 = \text{CH}_3, R_2 = 4\text{-COOH}$

**[3 A-a (4Br-H)]**

**[3 A-b (4OMe-H)]**

**[3 A-c (4NO<sub>2</sub>-H)]**

**[3 A-d (4COOH-H)]**

**[3 B-a (4Br-Ph)]**

**[3 B-b (4OMe-Ph)]**

**[3 B-c (4NO<sub>2</sub>-Ph)]**

**[3 B-d (4COOH-Ph)]**

**[3 C-a (4Br-CH<sub>3</sub>)]**

**[3 C-b (4OMe-CH<sub>3</sub>)]**

**[3 C-c (4NO<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>)]**

**[3 C-d (4COOH-CH<sub>3</sub>)]**

**Resa**

95%

33%

77%

96%

92%

74%

94%

96%

60%

47%

81%

81%

**Schema 15.** Sintesi di azocomposti fra derivati 2-amminotiazolici e sali di arildiazonio tetrafluoroborati

## 4.2 SPETTRI DI ASSORBIMENTO UV-VIS

Data l'importanza delle proprietà coloranti dei composti sintetizzati e considerando che lo scopo della tesi era quello di valutare le capacità di colorazione degli stessi su substrati di tipo diverso, si è reso necessario caratterizzare i composti in base anche alla loro interazione con la radiazione elettromagnetica. Si è perciò proceduto a registrare gli spettri UV-Vis dei prodotti ed a ricavare i valori del coefficiente di estinzione molare alla massima lunghezza d'onda di assorbimento. Questi valori sono riportati in Tabella 1 con il relativo errore calcolato scegliendo un intervallo di fiducia del 95% (vedi Appendice A). Gli spettri di assorbimento degli azocomposti sono stati registrati in MeOH, osservando intense bande alla  $\lambda_{\text{max}}$  in un range che va da 395 a 460 nm (Tabella 1). I coloranti 4-feniltiazolici (**3 B-a÷3 B-d**) causano uno shift batocromico (ovvero verso lunghezze d'onda maggiori) degli spettri di assorbimento rispetto sia a quelli dei coloranti 4-metiltiazolici (**3 C-a÷3 C-d**) che dei coloranti tiazolici (**3 A-a÷3 A-d**). Questo andamento può essere spiegato se si

considera che la presenza del fenile aiuta a stabilizzare il primo stato eccitato delle molecole abbassandone l'energia, conducendo ad un pronunciato shift batocromico.<sup>18</sup> Lo spostamento più evidente si riscontra per il colorante **3 B-c** che risulta essere di 70 nm rispetto a **3 A-c**, mentre per i coloranti **3 B-a**, **3 B-b** e **3 B-d** lo spostamento assume valori compresi tra i 44 e i 55 nm. Inoltre lo shift batocromico aumenta se ci sono gruppi elettron-attrattori legati all'altro anello aromatico dell'azocomposto.<sup>18</sup> Infatti si può considerare l'effetto che si ha sullo spostamento degli spettri da parte del sostituente sull'anello benzenico derivante dal sale di diazonio. Per i coloranti **3 B-a÷3 B-d** lo shift batocromico è nel seguente ordine crescente: 4-COOH → 4-OMe ≈ 4-Br → 4-NO<sub>2</sub>, mentre per i coloranti **3 A-a÷3 A-d** l'ordine è: 4-OMe → 4-Br ≈ 4-COOH → 4-NO<sub>2</sub>. Invece per i coloranti **3 C-a÷3 C-d** l'ordine è 4-OMe → 4-Br → 4-COOH → 4-NO<sub>2</sub>. L'effetto dello spostamento verso lunghezze d'onda più alte è molto evidente per i coloranti con il gruppo NO<sub>2</sub> in quanto è quello più elettron-attrattore di tutti. D'altra parte i coloranti con il gruppo OMe, essendo questo elettron-donatore, sono quelli che presentano i massimi di assorbimento alle lunghezze d'onda più basse. Invece i coloranti con il gruppo COOH non danno un buon riscontro con le assunzioni fatte, in quanto tale gruppo, essendo un buon gruppo elettron-attrattore, dovrebbe dare un evidente shift batocromico. Invece tra i coloranti 4-feniltiazolici il **3 B-d** è quello che presenta il massimo di assorbimento alla lunghezza d'onda più bassa, mentre tra i coloranti tiazolici il **3 A-d** ha il massimo di assorbimento spostato a lunghezze d'onda più alte solo rispetto al colorante che presenta il gruppo OMe. Ciò potrebbe essere dovuto al fatto che tali composti possono anche essere in forma salina, il che influenzerebbe lo shift batocromico rispetto agli altri azocomposti.

**Tabella 1**Valori dei coefficienti di estinzione molare alla  $\lambda_{max}$ 

<b>Composto (sigla)</b>	<b><math>\epsilon</math> in MeOH (<math>M^{-1}cm^{-1}</math>) alla (<math>\lambda_{max}</math>)</b>
<b>3 A-a</b>	31657 $\pm$ 1687 (400 nm)
<b>3 A-b</b>	34755 $\pm$ 4752 (395 nm)
<b>3 A-c</b>	24845 $\pm$ 2462 (421 nm)
<b>3 A-d</b>	24762 $\pm$ 2000 (401 nm)
<b>3 B-a</b>	26157 $\pm$ 504 (448 nm)
<b>3 B-b</b>	28429 $\pm$ 1212 (450 nm)
<b>3 B-c</b>	29919 $\pm$ 537 (491 nm)
<b>3 B-d</b>	25810 $\pm$ 657 (445 nm)
<b>3 C-a</b>	30277 $\pm$ 1380 (405 nm)
<b>3 C-b</b>	27957 $\pm$ 1143 (398 nm)
<b>3 C-c</b>	31565 $\pm$ 765 (460 nm)
<b>3 C-d</b>	22543 $\pm$ 924 (410 nm)

### 4.3 PROCESSO DI COLORAZIONE E MISURA DEL COLORE

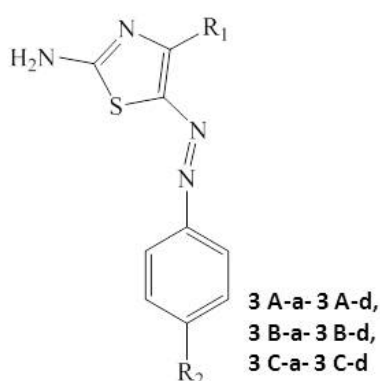
Il processo di colorazione è stato effettuato in determinate condizioni operative. I substrati scelti per la colorazione sono stati tessuti di poliestere, poliammide, acetato, lana di pecora (d'ora in poi detta lana), seta, cotone, fili di lana ovina e fibre di lana di yak (d'ora in poi dette yak), tutti materiali standard eccetto i fili di lana e lo yak. La lana di yak è stata scelta in quanto la sua composizione è quella che più assomiglia a quella dei capelli umani ed è pertanto utilizzata anche in prove di colorazione degli stessi.<sup>34</sup> Si è impostata una temperatura di 60 °C, mantenuta costante per la colorazione di ogni campione. Tale scelta è stata fatta sulla base dei substrati a

disposizione, scegliendo una temperatura né troppo alta per i substrati naturali quali lana ovina e di yak per evitarne l'infeltrimento, né troppo bassa per i substrati sintetici, i cui processi di colorazione vengono solitamente effettuati a temperature di ebollizione (100 °C) o superiori. Sono stati scelti una quantità di colorante pari al 10% in peso rispetto al peso del campione da colorare ed un *liquor ratio* di 50:1 (rapporto tra la massa di acqua e quella del campione). Nelle condizioni di base il colorante è stato disperso in acqua immergendo la sospensione in un bagno ad ultrasuoni. Occorre osservare che dopo questo trattamento il colorante rimane disperso in sospensione per circa 1 ora, corrispondente al tempo utilizzato per effettuare la colorazione. Sono stati ripetuti altri esperimenti in condizioni operative diverse quali il pH e l'aggiunta di un agente disperdente. Il pH misurato del bagno colore di base è stato di 6,0 in tutti i casi analizzati eccetto per quelli contenenti i coloranti **3 A-d** e **3 B-d** dove è risultato essere di 3,8, dovuto alla presenza del gruppo acido –COOH su tali composti. Lo stesso valore di pH, invece, non è stato riscontrato per il bagno colore di **3 C-d** (anch'esso caratterizzato dal medesimo gruppo) e ciò potrebbe essere dovuto al fatto che quest'ultimo sia in forma zwitterionica. La variazione di pH è stata effettuata sia andando in ambiente più acido (rispetto a quello del bagno di base) e precisamente a pH 2,7 (ottenuto aggiungendo alcune gocce di una soluzione acquosa di acido citrico 1 M), sia andando in ambiente alcalino a pH 8,4 (ottenuto aggiungendo qualche goccia di una soluzione acquosa di 2-metil-2-ammino-1-propanolo 0,1 M). Con **3 A-d** e **3 B-d**, avendo misurato già un pH abbastanza acido del bagno colore, non si è ritenuto di effettuare prove di colorazione variando il pH per andare in un ambiente più acido (rispetto a quello di base), ma di effettuare prove di colorazione variando il pH del bagno colore solo per ottenere un ambiente alcalino. In alcuni casi sono state effettuate prove di colorazione aggiungendo un agente disperdente (olio di calsolene), al fine di portare sia più colorante in soluzione che di ottenere una dispersione stabile in acqua, senza la necessità di utilizzare il bagno ad ultrasuoni, fondamentale per disperdere il colorante in assenza del mezzo disperdente.

In generale sono state ottenute buone colorazioni di quasi tutti i substrati, con i risultati visivamente più soddisfacenti per la poliammide, i cui campioni presentavano sia profondità che uniformità di colorazione. Invece per poliestere e cotone sono state ottenute scarse colorazioni. Per il poliestere ciò potrebbe essere dovuto alle condizioni operative utilizzate, soprattutto di temperatura, non propriamente adatte,

che non permettono al colorante di penetrare a fondo nella fibra. Ciononostante si è utilizzata la temperatura di 60° C anche per il poliestere per poi effettuare confronti sulla capacità colorante degli azocomposti sintetizzati. Tra i substrati naturali il cotone è quello che si colora più lievemente, probabilmente a causa di una sua minore affinità con i coloranti sintetizzati rispetto a quella con gli altri substrati naturali, dovuta alla sua struttura chimica che si discosta più di tutti da quella delle altre fibre considerate.

Nello schema 16 sono riportati i coloranti utilizzati nelle prove di colorazione e per quali di essi sono state effettuate variazioni delle condizioni operative, indicate con il simbolo ✓.



3 A-a: R <sub>1</sub> = H, R <sub>2</sub> = 4-Br
3 A-b: R <sub>1</sub> = H, R <sub>2</sub> = 4-OMe
3 A-c: R <sub>1</sub> = H, R <sub>2</sub> = 4-NO <sub>2</sub>
3 A-d: R <sub>1</sub> = H, R <sub>2</sub> = 4-COOH
3 B-a: R <sub>1</sub> = Ph, R <sub>2</sub> = 4-Br
3 B-b: R <sub>1</sub> = Ph, R <sub>2</sub> = 4-OMe
3 B-c: R <sub>1</sub> = Ph, R <sub>2</sub> = 4-NO <sub>2</sub>
3 B-d: R <sub>1</sub> = Ph, R <sub>2</sub> = 4-COOH
3 C-a: R <sub>1</sub> = CH <sub>3</sub> , R <sub>2</sub> = 4-OMe
3 C-b: R <sub>1</sub> = CH <sub>3</sub> , R <sub>2</sub> = 4-Br
3 C-c: R <sub>1</sub> = CH <sub>3</sub> , R <sub>2</sub> = 4-NO <sub>2</sub>
3 C-d: R <sub>1</sub> = CH <sub>3</sub> , R <sub>2</sub> = 4-COOH

Colorante	Variazione di pH	Agente disperdente (olio di calsolene)
3 A-a	✓	✓
3 A-b	✓	✗
3 A-c	✓	✓
3 A-d	✓	✗
3 B-a	✓	✓
3 B-b	✓	✗
3 B-c	✓	✓
3 B-d	✓	✗
3 C-a	✓	✓
3 C-b	✓	✗
3 C-c	✓	✓
3 C-d	✓	✗

**Schema 16.** Coloranti utilizzati per le colorazioni dei substrati e variazione di alcune condizioni operative.

#### **4.3.1 Misurazione del colore: interpretazione dei parametri colorimetrici L, a e b e delle differenze $\Delta L$ , $\Delta a$ e $\Delta b$**

La misurazione del colore dei campioni è stata effettuata utilizzando il sistema CIELab, determinando i parametri colorimetrici da misure in riflettanza per mezzo di uno spettrofotometro accessorato con sfera integratrice. Di tale sistema sono stati impostati gli illuminanti CIE A (simulazione della luce emessa da una lampadina ad incandescenza) e CIE D65 (simulazione della luce solare) e l'osservatore a 10°. Per la misura del colore i campioni sono stati posizionati in un apposito supporto in teflon. Per alcuni esemplari di poliestere, lana, filo di lana, acetato, poliammide, seta e cotone sono state eseguite tre misure sullo stesso campione ruotandolo di 90° tra una misura e l'altra al fine di minimizzare gli effetti direzionali sulla luce diffusa dal campione, causati dalle caratteristiche di trama dei differenti substrati. Per tali campioni sono stati riportati valori medi dei dati ottenuti con le relative incertezze, estendendo quest'ultime anche ai valori ottenuti dai corrispondenti campioni soggetti ad un'unica misura del colore. Invece i campioni di lana di yak sono stati tagliati e posti allineati all'interno del supporto e sono state effettuate tre misure dello stesso campione in quanto sono stati riscontrati cambiamenti in riflettanza a causa della non uniformità dello stesso in seguito al suo assemblaggio nel supporto, pertanto i dati che sono stati riportati sono valori medi.

Nel sistema CIELab i valori di L sono indice della luminosità e variano da 0 a 100, i valori di a rappresentano la componente cromatica rossa per valori positivi e verde per valori negativi, i valori di b rappresentano la componente cromatica gialla per valori positivi e blu per valori negativi. Le differenze  $\Delta L$ ,  $\Delta a$  e  $\Delta b$  vengono calcolate rispetto al bianco di riferimento che corrisponde al substrato non soggetto al processo di colorazione. Valori di  $\Delta L$  negativi si ottengono quando c'è un calo della luminosità rispetto al bianco, caso che si verifica per ogni colorante utilizzato in tutti i campioni colorati. Valori di  $\Delta a$  positivi significano che la componente cromatica a si sposta verso il rosso rispetto al bianco, per valori negativi verso il verde. Valori di  $\Delta b$  positivi significano che la componente cromatica b si sposta verso il giallo rispetto al bianco, per valori negativi verso il blu. Infine il calcolo del  $\Delta E$  è stato ottenuto dalla seguente equazione:

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

I dati esposti e discussi in questo paragrafo si riferiscono alle condizioni operative senza variazione di pH, assenza del mezzo disperdente, con illuminante A e osservatore 10°.

In Tabella 2 sono riportati i dati ottenuti con il colorante **3 A-a** (4Br-H): i valori di  $\Delta a$  e di  $\Delta b$  sono in tutti i casi entrambi positivi. L'entità dello spostamento della componente cromatica  $b$  è nettamente maggiore di quella di  $a$ , per cui la componente gialla è molto più predominante rispetto a quella rossa. I valori di luminosità non calano molto rispetto al bianco di riferimento e si osservano visivamente colori tendenti al giallo chiaro per tutti i substrati (Figura 30).

**Tabella 2**

Dati colorimetrici del colorante **3 A-a** per ogni substrato con illuminante A e osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	78,21	7,36	32,27	-4,08	8,26	33,60	34,84±0,90**
lana	73,81	11,10	49,06	-3,10	8,78	38,02	39,14±1,51**
filo lana	76,25	3,98	29,98	-4,07	2,58	22,67	23,17±1,46**
acetato	83,78	1,55	40,44	0,92	1,79	40,62	40,67±1,97**
poliammide	78,22	5,42	58,96	-2,85	6,36	60,69	61,08±0,55**
seta	81,02	3,53	36,88	-2,47	4,17	37,86	38,17±1,16**
cotone	82,24	3,08	20,57	-0,97	3,73	21,95	22,29±1,56**
yak*	70,88±0,25	3,74±0,04	34,75±0,06	-1,41±0,28	2,08±0,07	28,24±0,29	28,35±0,29

\* valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

\*\* Assunzione dell'incertezza sul  $\Delta E$  per i differenti substrati



**Figura 30.** Colorazione ottenuta per i differenti substrati con **3 A-a** (4Br-H)

Per il colorante **3 A-b** (4OMe-H, Tabella 3) il discorso è analogo a quello di **3 A-a**, con la differenza che l'entità dello spostamento della componente cromatica  $b$  verso il giallo è ancora più netta, osservando visivamente colori di un giallo leggermente più saturo (Figura31).



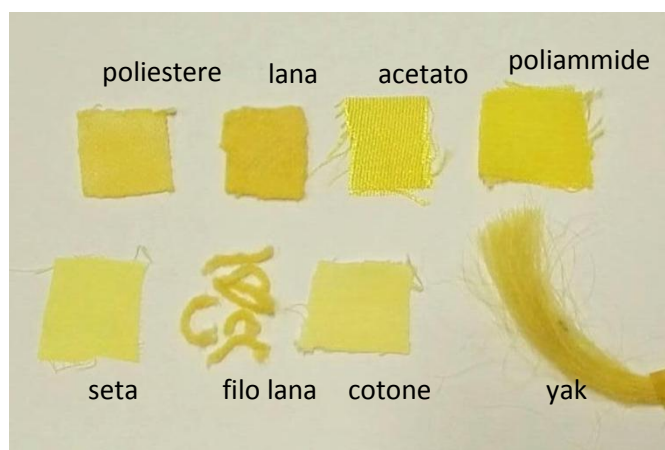
**Tabella 3**

Dati colorimetrici del colorante **3 A-b** per ogni substrato con illuminante A e osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	75,28	12,77	49,43	-7,01	13,67	50,76	53,03±0,90**
lana	74,54	13,44	58,56	-2,37	11,12	47,52	48,86±1,51**
filo lana	75,03	13,06	62,91	-5,29	11,66	55,6	57,05±1,46**
acetato	80,4	4,56	66,27	-2,46	4,80	66,45	66,67±1,97**
poliammide	78,12	6,77	67,69	-2,95	7,71	69,42	69,91±0,55**
seta	81,02	0,12	42,89	-2,47	0,76	43,87	43,95±1,16**
cotone	81,69	4,13	30,92	-1,52	4,78	32,3	32,69±1,56**
yak*	71,46±0,12	8,56±0,54	52,19±0,67	-0,83±0,17	6,90±0,54	45,68±0,72	46,20±0,72

\* valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

\*\* Assunzione dell'incertezza sul  $\Delta E$  per i differenti substrati



**Figura 31.** Colorazione ottenuta per i differenti substrati con **3 A-b** (4OMe-H)

Per il colorante **3 A-c** (4NO<sub>2</sub>-H, Tabella 4) i valori di  $\Delta a$  e  $\Delta b$  sono entrambi positivi per tutti i substrati e c'è un netto spostamento dei valori di  $a$  verso il rosso e di  $b$  verso il giallo. Gli spostamenti, per la maggior parte dei substrati, sono all'incirca della stessa entità per entrambi i valori. Le tinte associate ai valori di  $\Delta$  di tutti i substrati orientativamente nel sistema CIELab variano dai rosso-arancio ai giallo-arancio (Figura 32) e ciò è in accordo con quello che si percepisce visivamente nella realtà. I valori di luminosità calano maggiormente nel filo di lana e nella poliammide che visivamente corrispondono a colori più scuri (Figura 33).

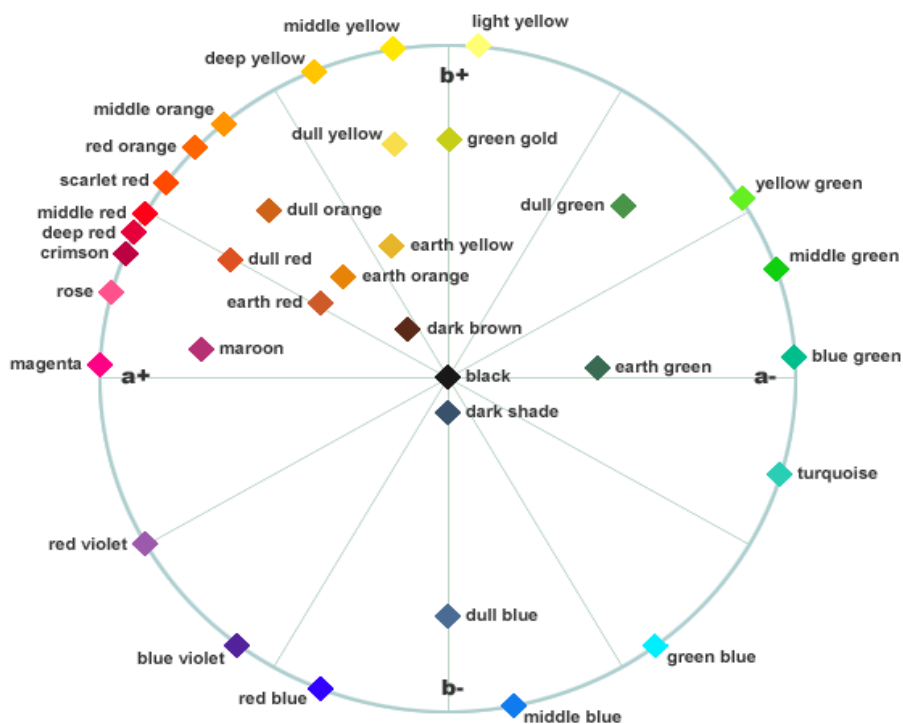


Figura 32. Ruota delle tonalità del sistema CIELab

<http://www.handprint.com/HP/WCL/vismixmap.html> © 2003, ultimo accesso il 25/09/2017

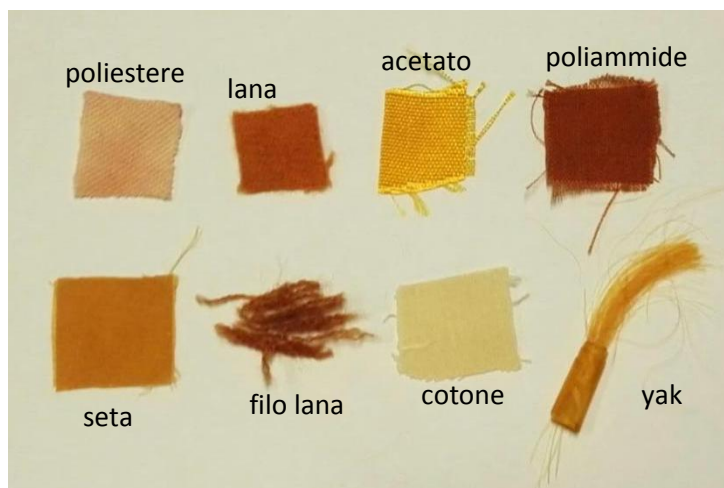
Tabella 4

Dati colorimetrici del colorante 3 A-c per ogni substrato con illuminante A e osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	59,06	22,87	18,30	-23,23	23,77	19,63	38,60±0,90**
lana	48,24	29,42	33,91	-28,67	27,10	22,87	45,60±1,51**
filo lana	40,26	23,65	32,86	-40,06	22,25	25,55	52,47±1,46**
acetato	71,62	23,87	73,84	-11,24	24,11	74,02	78,65±1,97**
poliammide	42,80	28,55	29,07	-38,27	29,49	30,80	57,30±0,55**
seta	60,78	25,22	53,84	-22,71	25,86	54,82	64,73±1,16**
cotone	75,72	12,36	26,95	-7,49	13,01	28,33	32,06±1,56**
yak*	60,50±0,26	20,55±0,22	41,61±1,03	-11,79±0,29	18,88±0,22	35,10±1,07	41,56±0,91

\* valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

\*\* Assunzione dell'incertezza sul  $\Delta E$  per i differenti substrati



**Figura 33.** Colorazione ottenuta per differenti substrati con **3 A-c** ( $4\text{NO}_2\text{-H}$ )

Per il colorante **3 A-d** ( $4\text{COOH-H}$ , Tabella 5) i valori di  $\Delta a$  e di  $\Delta b$  sono entrambi positivi in tutti i casi. L'entità dello spostamento della componente cromatica  $b$  è maggiore di quella di  $a$ , per cui la componente gialla è maggiormente predominante rispetto a quella rossa. I valori di luminosità non calano molto rispetto al bianco di riferimento. Si osservano infatti colori tendenti al giallo chiaro nel caso dell'acetato e dello yak che presentano i valori più bassi di  $\Delta a$  e colori tendenti alle tonalità giallo-arancio per gli altri substrati (Figura 34).

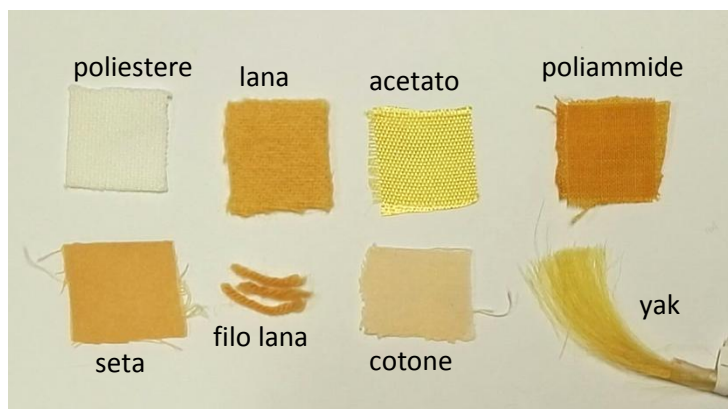
**Tabella 5**

Dati colorimetrici del colorante **3 A-d** per ogni substrato con illuminante A e osservatore  $10^\circ$

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	81,43	-0,42	1,62	-0,86	0,48	2,95	$3,11 \pm 0,90^{**}$
lana	64,30	20,48	48,88	-12,61	18,16	37,84	$43,83 \pm 1,51^{**}$
filo lana	63,86	16,62	35,36	-16,46	15,22	28,05	$35,91 \pm 1,46^{**}$
acetato	79,98	5,84	48,91	-2,88	6,08	49,09	$49,55 \pm 1,97^{**}$
poliammide	61,62	25,20	61,55	-19,45	26,14	63,28	$71,18 \pm 0,55^{**}$
seta	68,84	16,53	39,62	-14,65	17,17	40,60	$46,45 \pm 1,16^{**}$
cotone	76,85	8,52	21,99	-6,36	9,17	23,37	$25,90 \pm 1,56^{**}$
yak*	$66,93 \pm 0,32$	$13,20 \pm 0,12$	$51,56 \pm 0,19$	$-5,36 \pm 0,34$	$11,54 \pm 0,13$	$45,05 \pm 0,34$	$46,81 \pm 0,33$

\* valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

\*\* Assunzione dell'incertezza sul  $\Delta E$  per i differenti substrati



**Figura 34.** Colorazione ottenuta per i differenti substrati con **3 A-d** (4COOH-H)

Per il colorante **3 B-a** (4Br-Ph, Tabella 6) i valori di  $\Delta a$  e di  $\Delta b$  sono entrambi positivi per ogni substrato. L'entità dello spostamento della componente cromatica  $b$  è maggiore di quella di  $a$ , per cui la componente gialla è predominante rispetto a quella rossa. Le tinte associate ai valori di  $\Delta$  orientativamente nel sistema CIELab variano dagli arancioni ai giallo-arancio e ciò è in accordo con quello che si percepisce visivamente nella realtà. L'unica eccezione è costituita dal poliestere che rispetto agli altri substrati ha uno spostamento maggiore della componente cromatica  $a$ , per cui la componente rossa assume un certo peso ed infatti ci si sposta nel sistema CIELab verso le tonalità del rosso, che di fatto corrisponde al colore che si osserva visivamente (Figura 35).

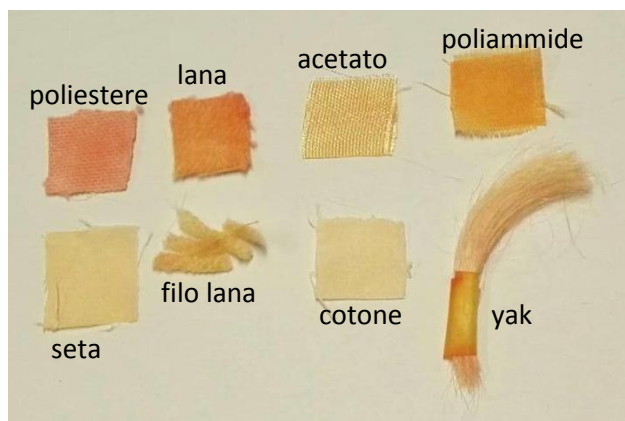
**Tabella 6**

Dati colorimetrici del colorante **3 B-a** per ogni substrato con illuminante A e osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	59,29	41,90	43,36	-23,00	42,80	44,69	66,02±0,90**
lana	67,95	31,91	42,97	-8,96	29,59	31,93	44,45±1,51**
filo lana	74,86	18,54	39,80	-5,46	17,14	32,49	37,14±1,46**
acetato	77,51	16,93	36,22	-5,35	17,17	36,40	40,60±1,97**
poliammide	66,71	36,37	57,71	-14,36	37,31	59,44	71,63±0,55**
seta	73,79	16,33	28,12	-9,70	16,97	29,10	35,06±1,16**
cotone	79,87	8,63	13,87	-3,34	9,28	15,25	18,16±1,56**
yak*	69,26±0,56	14,66±0,20	25,10±0,89	-3,03±0,57	12,99±0,20	18,59±0,93	22,88±0,77

\* valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

\*\* Assunzione dell'incertezza sul  $\Delta E$  per i differenti substrati



**Figura 35.** Colorazione ottenuta per differenti substrati con **3 B-a** (4Br-Ph)

Anche per il colorante **3 B-b** (4OMe-Ph, Tabella 7) in tutti i casi i valori di  $\Delta a$  e di  $\Delta b$  sono entrambi positivi con l' entità dello spostamento della componente cromatica  $b$  maggiore di quella di  $a$ . A differenza di **3 B-a** però i valori di  $\Delta b$  dei vari substrati sono maggiori, osservando visivamente tinte tendenti al giallo e al giallo-arancio fino all'arancione (Figura 36).

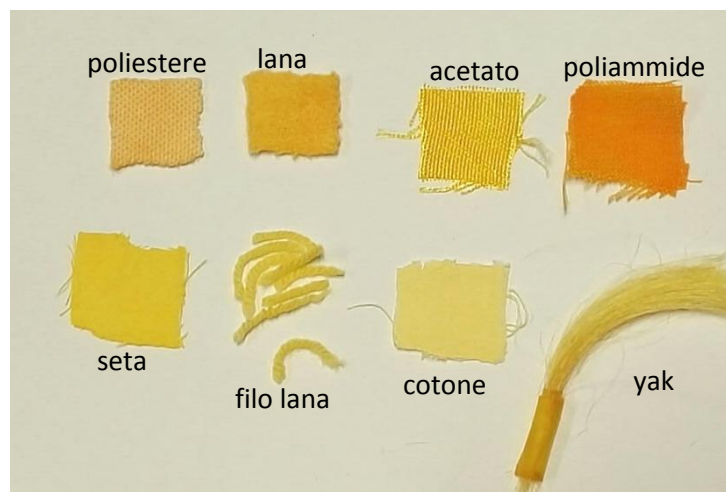
**Tabella 7**

Dati colorimetrici del colorante **3 B-b** per ogni substrato con illuminante A e osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	74,3	22,38	41,03	-7,99	23,28	42,36	48,99±0,90**
lana	73,01	24,62	56,05	-3,9	22,3	45,01	50,38±1,51**
filo lana	74,62	13,47	48,54	-5,7	12,07	41,23	43,34±1,46**
acetato	78,04	19,36	74,49	-4,82	19,6	74,67	77,35±1,97**
poliammide	70,52	31,99	77,59	-10,55	32,93	79,32	86,53±0,55**
seta	75,98	17,38	62,89	-7,51	18,02	63,87	66,79±1,16**
cotone	80,96	7,95	24,14	-2,25	8,6	25,52	27,02±1,56**
yak	71,35±0,13	11,72±0,20	39,90±0,12	-0,94±0,18	10,06±0,21	33,39±0,30	34,88±0,30

\* valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

\*\* Assunzione dell'incertezza sul  $\Delta E$  per i differenti substrati



**Figura 36.** Colorazione ottenuta per i differenti substrati con **3 B-b** (4OMe-Ph)

Per il colorante **3 B-c** (4NO<sub>2</sub>-Ph, Tabella 8), i valori di  $\Delta a$  sono positivi per ogni substrato, quindi si spostano verso il rosso in riferimento al bianco, mentre i valori di  $\Delta b$  sono, o di poco positivi e si spostano verso il giallo per quanto riguarda il poliestere, il cotone, la seta e l'acetato o negativi per quanto riguarda la poliammide, la lana e lo yak che si spostano verso il blu. Gli spostamenti avvengono con un'entità maggiore verso i rossi, rispetto che ai blu o ai gialli e ciò comporta una maggiore predominanza della componente cromatica *a*. Infatti le tinte che corrispondono nel sistema CIELab ai valori di  $\Delta$  orientativamente vanno dal rosso-violaceo (valori negativi di  $\Delta b$ ) al rosa (valori positivi di  $\Delta b$ ). Ciò è in accordo a quanto si percepisce visivamente nella realtà. I valori di luminosità calano maggiormente per il poliestere, la lana e la poliammide che corrispondono visivamente a colori più scuri (Figura 37).

**Tabella 8**

Dati colorimetrici del colorante **3 B-c** per ogni substrato con illuminante A e osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	32,01	13,04	-0,22	-50,28	13,94	1,11	52,19±0,90**
lana	35,53	15,63	2,84	-41,38	13,31	-8,20	44,23±1,51**
filo lana	39,17	20,10	2,27	-41,15	18,70	-5,04	45,48±1,46**
acetato	65,02	15,75	7,34	-17,84	15,99	7,52	25,11±1,97**
poliammide	41,75	19,80	-1,75	-39,32	20,74	-0,02	44,45±0,55**
seta	65,24	17,90	2,96	-18,25	18,54	3,94	26,31±1,16**
cotone	74,61	4,88	-1,28	-8,60	5,53	0,10	10,23±1,56**
yak*	53,49±0,91	14,52±0,06	-2,66±0,20	-18,80±0,92	12,86±0,08	-9,17±0,34	24,55±0,72

\* valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

\*\* Assunzione dell'incertezza sul  $\Delta E$  per i differenti substrati



**Figura 37.** Colorazione ottenuta per i differenti substrati con **3 B-c** ( $4\text{NO}_2\text{-Ph}$ )

Per il colorante **3 B-d** ( $4\text{COOH-Ph}$ , Tabella 9) il discorso è analogo a quello di **3 A-c**. Si riscontrano per tutti i substrati valori di  $\Delta a$  e  $\Delta b$  positivi i cui valori orientativamente corrispondono alle tinte degli arancioni e dei giallo-arancio. I valori di luminosità non calano più di tanto rispetto al bianco e complessivamente si osservano colori più chiari rispetto a quelli di **3 A-c** (Figura 38).

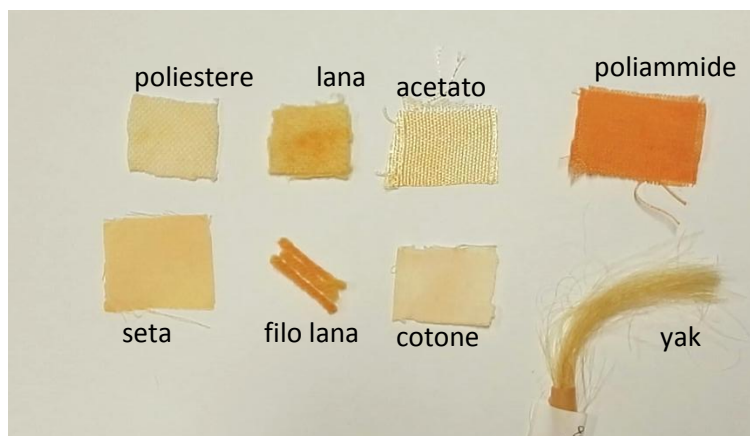
**Tabella 9**

Dati colorimetrici del colorante **3 B-d** per ogni substrato con illuminante A e osservatore  $10^\circ$

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	77,98	7,82	22,03	-4,31	8,72	23,36	$25,30 \pm 0,90^{**}$
lana	71,96	19,12	45,52	-4,95	16,80	34,48	$38,67 \pm 1,51^{**}$
filo lana	67,49	20,83	38,23	-12,83	19,43	30,92	$38,71 \pm 1,46^{**}$
acetato	80,24	10,13	24,81	-2,62	10,37	24,99	$27,18 \pm 1,97^{**}$
poliammide	67,26	31,66	51,78	-13,81	32,60	53,51	$64,16 \pm 0,55^{**}$
seta	76,65	14,05	32,34	-6,84	14,69	33,32	$37,05 \pm 1,16^{**}$
cotone	80,61	9,54	18,18	-2,60	10,19	19,56	$22,21 \pm 1,56^{**}$
yak*	$69,87 \pm 0,04$	$13,74 \pm 0,20$	$36,20 \pm 0,09$	$-2,42 \pm 0,13$	$12,08 \pm 0,21$	$29,69 \pm 0,29$	$32,14 \pm 0,28$

\* valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

\*\* Assunzione dell'incertezza sul  $\Delta E$  per i differenti substrati



**Figura 38.** Colorazione ottenuta per differenti substrati con **3 B-d** (4 COOH-Ph)

Per il colorante **3 C-a** (4Br-CH<sub>3</sub>, tabella 10) valgono le stesse considerazioni fatte per il colorante **3 A-a** (4Br-H). Si riscontrano infatti valori di  $\Delta a$  e  $\Delta b$  entrambi positivi con lo spostamento della componente cromatica  $b$  verso il giallo nettamente maggiore di quella di  $a$  verso il rosso e con i valori di luminosità che non calano così tanto rispetto al bianco di riferimento, osservando visivamente colori chiari. In questo caso però i valori di  $\Delta b$  per tutti i substrati sono maggiori di quelli riscontrati per il colorante **3 A-a**, osservando di fatto colori di un giallo decisamente più saturo, soprattutto per quanto riguarda i campioni di acetato e poliammide (Figura 39). Stesso discorso vale per il colorante **3 C-b** (4OMe-CH<sub>3</sub>, tabella 11, Figura 40).

**Tabella 10**

Dati colorimetrici del colorante **3 C-a** per ogni substrato con illuminante A e osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	78,73	4,43	39,93	-3,56	5,33	41,26	41,75±0,90**
lana	73,47	12,34	66,15	-3,44	10,02	55,11	56,12±1,51**
filo lana	76,64	10,82	70,28	-3,68	9,42	62,97	63,78±1,46**
acetato	81,09	6,16	79,52	-1,77	6,4	79,7	79,98±1,97**
poliammide	74,73	16,8	80,96	-6,34	17,74	82,69	84,81±0,55**
seta	78,8	7,15	74,99	-4,69	7,79	75,97	76,51±1,16**
cotone	80,93	4,34	46,76	-2,28	4,99	48,14	48,45±1,56**
Yak*	71,49±0,03	6,97±0,05	58,25±0,74	-0,80±0,12	5,31±0,07	51,74±0,79	52,01±0,78

\* valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

\*\* Assunzione dell'incertezza sul  $\Delta E$  per i differenti substrati



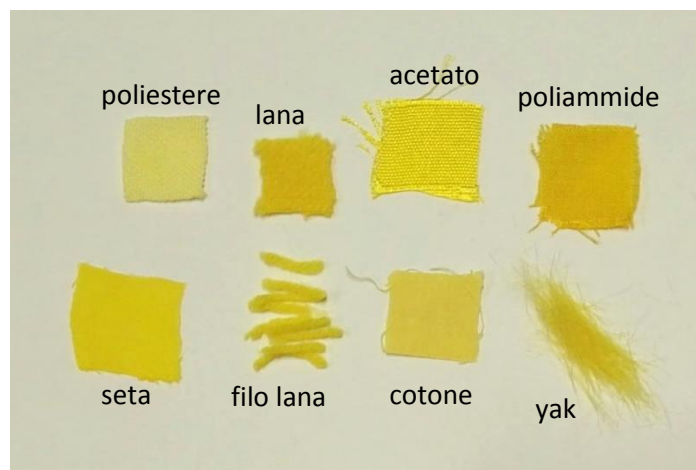


Figura 39. Colorazione ottenuta per differenti substrati con **3 C-a** ( $4 \text{ Br-CH}_3$ )

Tabella 11

Dati colorimetrici del colorante **3 C-b** per ogni substrato con illuminante A e osservatore  $10^\circ$

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere*	80,15±0,29	1,57±0,20	37,21±0,64	-2,14±0,41	2,47±0,28	38,54±0,90	38,68±0,90
lana*	75,88±0,13	9,24±0,15	71,16±1,1	-1,03±0,19	6,92±0,21	60,12±1,52	60,53±1,51
filo lana*	76,11±0,17	4,75±0,10	70,63±1,04	-4,21±0,25	3,35±0,14	63,32±1,46	63,54±1,46
acetato*	81,65±0,34	4,49±0,37	83,99±1,39	-1,21±0,47	4,73±0,53	84,17±1,97	84,31±1,97
poliammide*	76,96±0,32	10,42±0,16	83,79±0,39	-4,11±0,46	11,36±0,22	85,52±0,56	86,37±0,55
seta*	78,94±0,29	5,00±0,03	76,58±0,82	-4,55±0,41	5,64±0,05	77,56±1,16	77,89±1,16
cotone*	80,73±0,57	3,35±0,20	51,71±1,11	-2,48±0,81	4,00±0,81	53,09±1,57	53,30±1,56
yak*	68,75±0,15	4,48±0,11	58,26±0,48	-3,54±0,19	2,81±0,12	51,75±0,56	51,95±0,55

\* valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

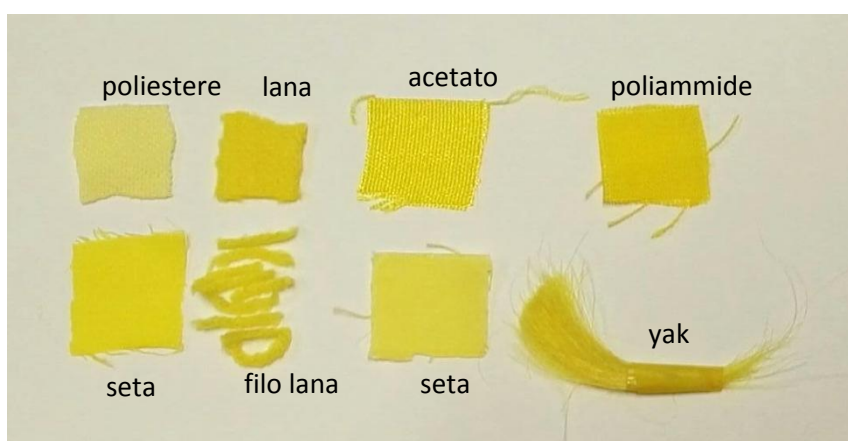


Figura 40. Colorazione ottenuta per i differenti substrati con **3 C-b** ( $4\text{OMe-CH}_3$ )

Per il colorante **3 C-c** ( $4\text{NO}_2\text{-CH}_3$ , Tabella 12) i valori di  $\Delta a$  e di  $\Delta b$  sono entrambi positivi in tutti i casi. A seconda del substrato variano le entità degli spostamenti delle

componenti cromatiche. Per il poliestere, la lana, la poliammide e lo yak l'entità dello spostamento della componente cromatica *a* è maggiore di quella di *b*, per cui la componente cromatica rossa è quella predominante, soprattutto nella poliammide. Le tinte associate ai valori di  $\Delta$  orientativamente variano dal rosso ai rosso-arancio e trovano conferma anche dall'osservazione visiva (Figura 41). Invece per l'acetato, la seta e il cotone l'entità dello spostamento della componente cromatica *b* è maggiore di quella di *a*, la componente cromatica gialla è quella predominante, soprattutto nell'acetato. Le tinte associate ai valori di  $\Delta$  orientativamente nel sistema CIELab corrispondono, all'arancione per quanto riguarda la seta che presenta un elevato spostamento anche della componente cromatica rossa, e ai giallo-arancio per cotone e acetato. Tutto ciò trova conferma anche dall'osservazione visiva (Figura 41).

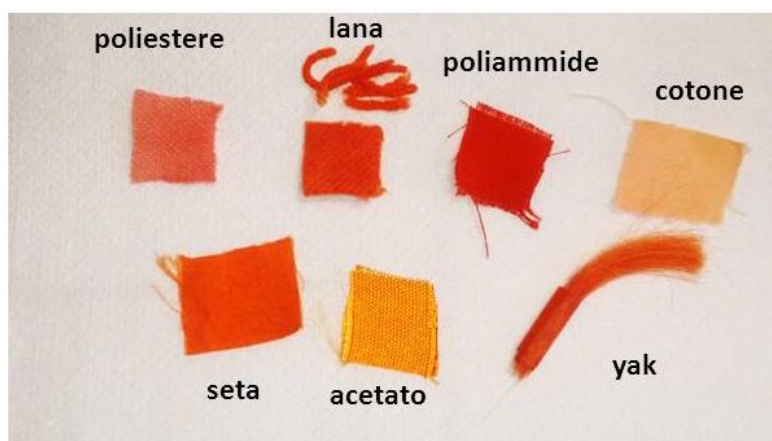
**Tabella 12**

Dati colorimetrici del colorante **3 C-c** per ogni substrato con illuminante A e osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	54,68	34,37	25,40	-27,61	35,27	26,73	52,16±0,90**
lana	50,21	39,80	39,92	-26,70	37,48	28,88	54,33±1,51**
filo lana	51,93	35,86	29,75	-28,39	34,46	22,44	49,97±1,46**
acetato	65,53	39,33	75,66	-17,33	39,57	75,84	87,28±1,97**
poliammide	43,37	43,01	37,79	-37,70	43,95	39,52	70,11±0,55**
seta	56,02	41,61	54,23	-27,47	42,25	55,21	74,75±1,16**
cotone	70,76	22,34	31,21	-12,45	22,99	32,59	41,78±1,56**
yak*	50,04±0,18	37,20±0,07	41,50±0,06	-22,25±0,21	35,54±0,09	34,99±0,29	54,60±0,21

\* valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

\*\* Assunzione dell'incertezza sul  $\Delta E$  per i differenti substrati



**Figura 41.** Colorazione ottenuta per i differenti substrati con **3 C-c** ( $4\text{NO}_2\text{-CH}_3$ )

Per il colorante **3 C-d** ( $4\text{COOH-CH}_3$ , tabella 13) i valori di  $\Delta a$  e  $\Delta b$  sono entrambi positivi con gli spostamenti delle componenti cromatiche di  $a$  verso il rosso e di  $b$  verso il giallo. Per il poliestere le entità degli spostamenti delle componenti cromatiche sono decisamente minori rispetto agli altri substrati e non si discostano molto dal bianco di riferimento, osservando di fatto un campione acromatico. Per i substrati dell'acetato e dello yak lo spostamento della componente cromatica  $b$  è maggiore di quella di  $a$ , quindi la componente gialla è predominante, osservando colori più tendenti al giallo-arancio. Mentre per gli altri substrati non c'è una netta differenza tra i valori di  $\Delta a$  e  $\Delta b$ , i cui valori orientativamente corrispondono nel sistema CIELab alle tinte degli arancioni, così come si riscontra dall'osservazione visiva. Il valore di luminosità rispetto al bianco di riferimento cala decisamente nella poliammide piuttosto che negli altri substrati, osservando un colore nettamente più scuro (Figura 42).

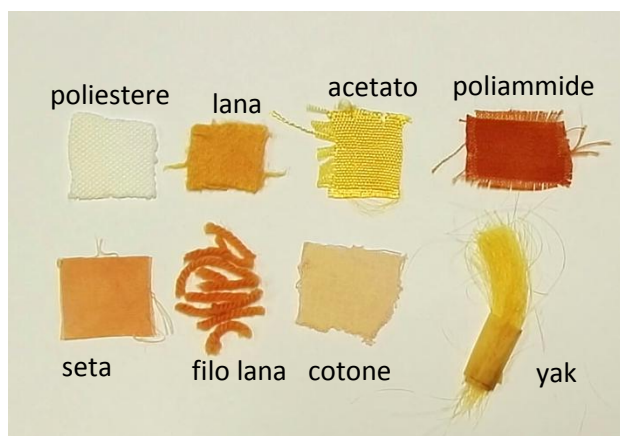
**Tabella 13**

Dati colorimetrici del colorante **3 C-d** per ogni substrato con illuminante A e osservatore  $10^\circ$

materiale	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	79,81	3,08	14,41	-2,48	3,98	15,74	16,42±0,90**
lana	63,76	27,23	58,32	-13,15	24,91	47,28	55,03±1,51**
filo lana	55,68	34,38	48,06	-24,64	32,98	40,75	57,93±1,46**
acetato	76,35	17,65	64,71	-6,51	17,89	64,89	67,63±1,97**
poliammide	49,51	38,74	42,56	-31,56	39,68	44,29	67,32±0,55**
seta	66,21	25,92	41,21	-17,28	26,56	42,19	52,76±1,16**
cotone	69,89	19,89	26,08	-13,32	20,54	27,46	36,79±1,56**
yak*	63,87±0,37	18,52±1,22	56,23±0,06	-8,42±0,38	16,86±0,22	49,72±0,29	53,17±0,47

\* valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

\*\* Assunzione dell'incertezza sul  $\Delta E$  per i differenti substrati



**Figura 42.** Colorazione ottenuta per i differenti substrati con **3 C-d** ( $4\text{COOH-CH}_3$ )

### 4.3.2 Differenze delle misure colorimetriche in funzione dell'illuminante scelto

Prendendo come riferimento il parametro  $\Delta E$  si osserva che per la maggior parte dei casi non ci sono grosse differenze tra l'illuminante A (lampadina ad incandescenza) e D65 (luce solare) come si constata calcolando i valori assoluti di  $\Delta E$  tra l'illuminante A e D65 (Tabella 14). Tuttavia le differenze maggiori per alcuni coloranti sono state riscontrate per i campioni di acetato e poliammide. I valori di  $\Delta E$  utilizzati per calcolare la differenza si riferiscono alle condizioni operative senza variazione di pH e assenza del mezzo disperdente.

**Tabella 14**

Differenze per ogni colorante in funzione del tipo di illuminante

campione	$\Delta E$											
	3 A-a	3 A-b	3 A-c	3 A-d	3 B-a	3 B-b	3 B-c	3 B-d	3 C-a	3 C-b	3 C-c	3 C-d
poliestere	3,12	5,10	2,33	0,01	4,18	5,45	0,5	2,97	1,58	0,33	2,53	1,15
lana	2,59	4,36	0,87	3,09	2,74	5,27	1,18	4,09	2,88	1,01	0,66	4,77
filo lana	1,13	4,49	0,5	2,29	5,38	4,47	1,64	2,76	2,58	0,92	0,69	3,83
acetato	2,7	1,27	6,36	0,41	5,2	6,91	0,49	3,65	0,03	1,34	7,75	4,76
poliammide	1	0,78	1,27	5,34	7,19	8,56	1,48	6,64	5,99	3,22	2,47	4,81
seta	1,18	2,68	4,9	3,52	4,04	6,40	1,83	4,57	1,23	0,23	5,16	5,41
cotone	0,88	1,79	3,8	2,36	2,68	3,63	0,37	3,19	1,08	0,13	4,53	4,42
yak	0,28	2,87	3,64	1,97	2,43	4,38	2,47	3,73	1,29	0,81	2,34	4,28

#### 4.4 CAPACITÀ COLORANTI DEGLI AZOCOMPOSTI IN FUNZIONE DEL TIPO DI SUBSTRATO

Oltre che visivamente, prendendo come parametro di riferimento il  $\Delta E$  delle Tabelle 2-13 si notano delle differenze per ogni colorante in funzione del tipo di substrato. Queste differenze non seguono un *trend* generalizzato in quanto dipendono dalle caratteristiche dei diversi coloranti che sembrano mostrare una minore o maggiore affinità per un substrato rispetto che ad un altro come mostrato in figura 43.

Se dividiamo i coloranti che presentano lo stesso gruppo proveniente dal sale di diazonio in base al diverso gruppo legato in posizione 4 sull'anello tiazolico (H, Ph, CH<sub>3</sub>) e i campioni in base alla tipologia di fibra (sintetica o naturale) è possibile ricavare un'indicazione dell'affinità che un colorante ha nei confronti di un determinato substrato anziché di un altro. Infatti, dai dati presenti nella Figura 43 si può notare che i coloranti 4-feniltiazolici (**3 B-a÷3 B-d**) sembrano mostrare un'affinità maggiore verso i substrati sintetici, viceversa per i coloranti tiazolici (**3 A-a÷3 A-d**). Ciò si vede principalmente nel poliestere che presenta i valori più alti di  $\Delta E$  con i coloranti 4-feniltiazolici. Invece i coloranti tiazolici mostrano i valori più alti di  $\Delta E$  per i substrati naturali quali seta, cotone e yak e per il substrato sintetico dell'acetato. Per quanto riguarda la poliammide e la lana non si riscontra una preferenza in particolare. Mentre i coloranti 4-metiltiazolici (**3 C-a÷3 C-d**) sono quelli che mostrano la più elevata affinità sia per i substrati sintetici che naturali, infatti sono quelli che presentano mediamente il valore di  $\Delta E$  più elevato per tutti i tipi di substrato.

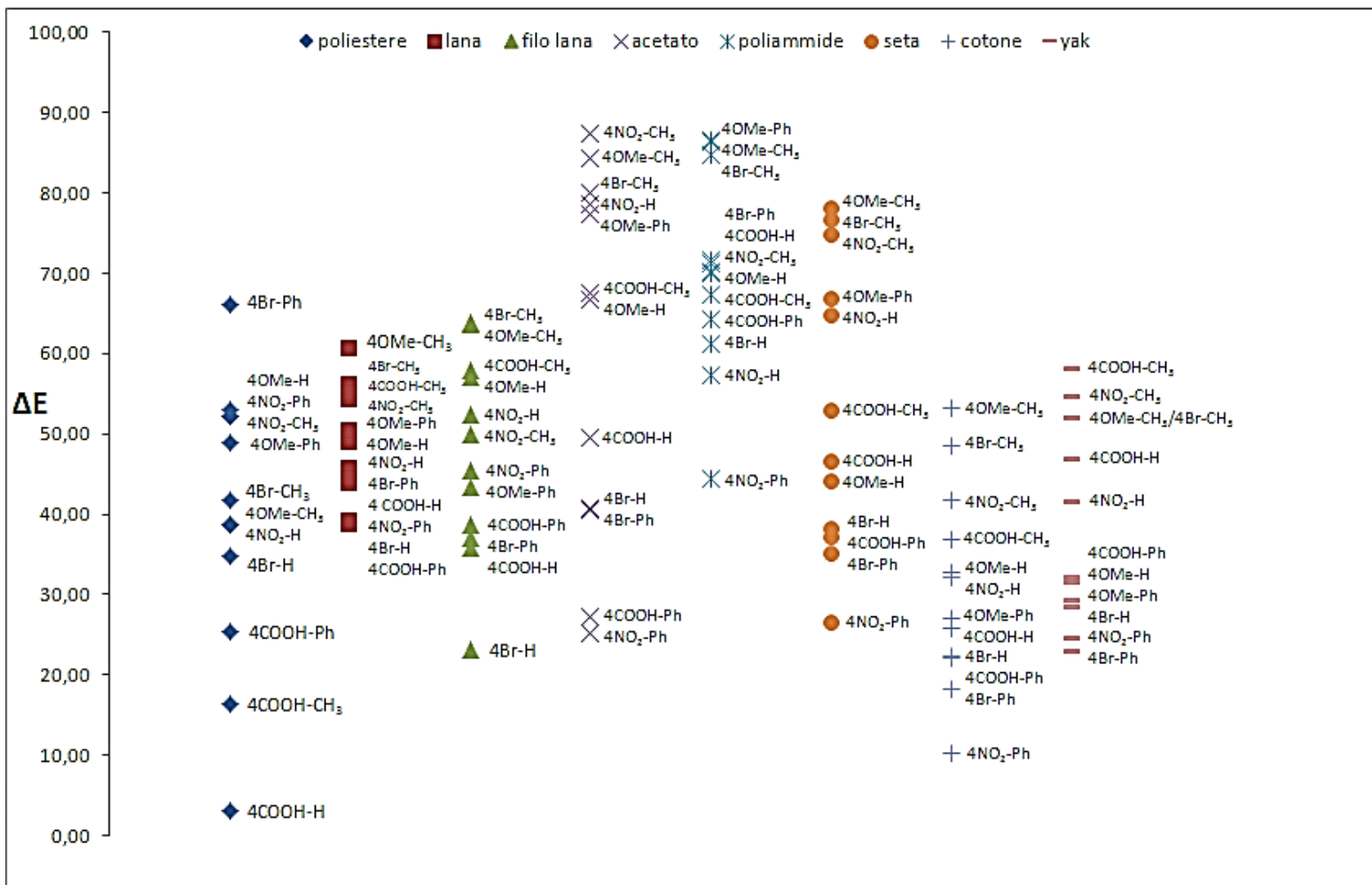


Figura 43.  $\Delta E$  di ogni colorante utilizzato in funzione dei diversi substrati colorati

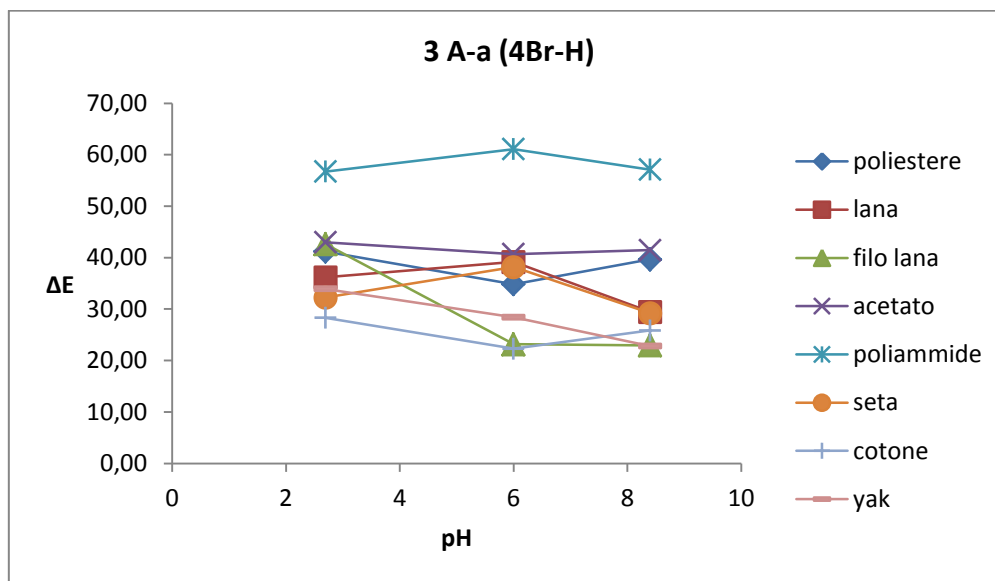
I dati ottenuti possono essere razionalizzati come segue. Per quanto riguarda il poliestere i coloranti 4-feniltiazolici, rispetto a quelli tiazolici, potrebbero essere più affini per l'instaurarsi di interazioni idrofobe tra il fenile del colorante e gli anelli aromatici della fibra (o tra il fenile del colorante e la catena alchilica della fibra, non è nota la composizione esatta del poliestere). Invece per i substrati quali acetato, seta, e cotone si riscontra l'andamento opposto. Questo potrebbe essere interpretato sia valutando l'ingombro sterico dei coloranti, che il tipo di interazioni che principalmente svolgono questi tipi di substrato. I coloranti tiazolici sono meno ingombrati di quelli 4-feniltiazolici e potrebbero diffondere meglio all'interno della fibra, inoltre le principali interazioni sono di tipo ionico o di legame ad idrogeno, mentre le interazioni idrofobe sono trascurabili, scoraggiando di fatto le interazioni con il fenile. Per quanto riguarda la lana non si riscontra alcuna preferenza tra i due coloranti. Le caratteristiche morfologiche della lana che presenta più zone amorfe (struttura più aperta) rispetto a seta e cotone possono rendere trascurabile o non molto importante l'effetto dell'ingombro sterico. Inoltre la lana ha la possibilità di effettuare differenti tipi di

interazioni sia ioniche che idrofobe, di fatto adattandosi alle caratteristiche dei coloranti. I valori di  $\Delta E$  per la lana sono tutti vicini tra di loro a dimostrazione del fatto che non esibisce una sostanziale differenza per i coloranti utilizzati. Lo yak non si comporta come il substrato lana e filo di lana, in quanto probabilmente non ha subito gli stessi trattamenti preliminari subiti dalla stoffa che rendono più accessibili le fibre, e quindi presenta una struttura più embricata che permette la diffusione preferenziale dei coloranti tiazolici. Infine la poliammide si comporta come la lana in quanto può instaurare con il colorante sia interazioni ioniche, legami ad idrogeno che interazioni idrofobe. I coloranti 4-metiltiazolici sono quelli che presentano mediamente la maggior affinità con i vari substrati. Ciò potrebbe essere dovuto al fatto che essi hanno un ingombro sterico minore rispetto ai coloranti 4-feniltiazolici, permettendo più facilmente l'accesso del colorante alle fibre e sebbene siano più ingombranti rispetto a quelli tiazolici, l'ingombro sterico del gruppo metile potrebbe far assumere alla molecola una particolare conformazione che favorirebbe l'interazione con un determinato substrato, come si vede nel caso del cotone. Inoltre tale gruppo è in grado di instaurare interazioni idrofobe che lo rendono affine alle fibre sintetiche.

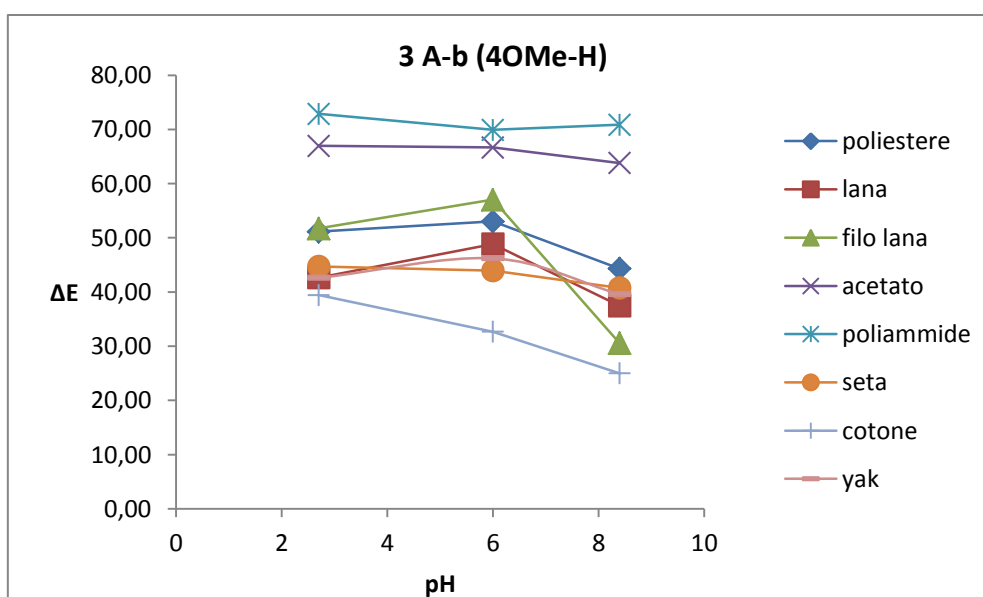
#### **4.5 INFLUENZA DEL pH SULLA COLORAZIONE DEI DIVERSI SUBSTRATI**

Per effettuare una valutazione comparativa dell'influenza del pH sulla colorazione delle fibre considerate per un singolo colorante sono stati costruiti grafici che riportano il  $\Delta E$  (illuminante A) a seconda del pH (Grafici 1-12). L'andamento del  $\Delta E$  rimane pressoché costante per la maggior parte dei substrati nei coloranti tiazolici (Grafici 1-4) rispetto sia a quelli 4-feniltiazolici (Grafici 5-8) che 4-metiltiazolici (Grafici 9-12), che mostrano delle variazioni più evidenti. In particolare per il colorante **3 B-a** (4Br-Ph) le variazioni maggiori si riscontrano per i substrati sintetici poliammide e poliestere sia a pH 2,7 che a pH 8,4 (Grafico 5). Invece per i coloranti **3 B-c** (4NO<sub>2</sub>-Ph), **3 C-b** (4OMe-CH<sub>3</sub>) e **3 C-d** (4 COOH-CH<sub>3</sub>) lo scostamento più evidente del  $\Delta E$  al variare del pH si osserva per la lana, (Grafici 7,10 e 12) con il dato più importante riguardante il colorante **3 B-c**, in cui il  $\Delta E$  per il filo di lana cala di 25 unità quando si passa dall'ambiente acido a quello alcalino, mentre per substrato di lana il  $\Delta E$  cala di 20 unità (Grafico 7). Anche per il **3 B-d** (4COOH-Ph) il  $\Delta E$  cala per la lana quando si passa dall'ambiente acido a quello alcalino, mentre per gli altri substrati resta sostanzialmente lo stesso o aumenta. In particolare, passando dall'ambiente acido a quello alcalino, il salto più evidente si osserva per il cotone dove il  $\Delta E$  passa da

22,21 a 55,61(Grafico 8). Nonostante l'influenza del pH coinvolga solo alcuni substrati, le variazioni riscontrate non sono di facile interpretazione, tenendo conto del fatto che la variazione di pH del mezzo può agire sia sui gruppi appartenenti alle diverse fibre, ma anche sul colorante stesso. Ad esempio a pH acido è probabile la salificazione dell'atomo del colorante e questo comporterebbe una minore interazione con fibre poco polari.

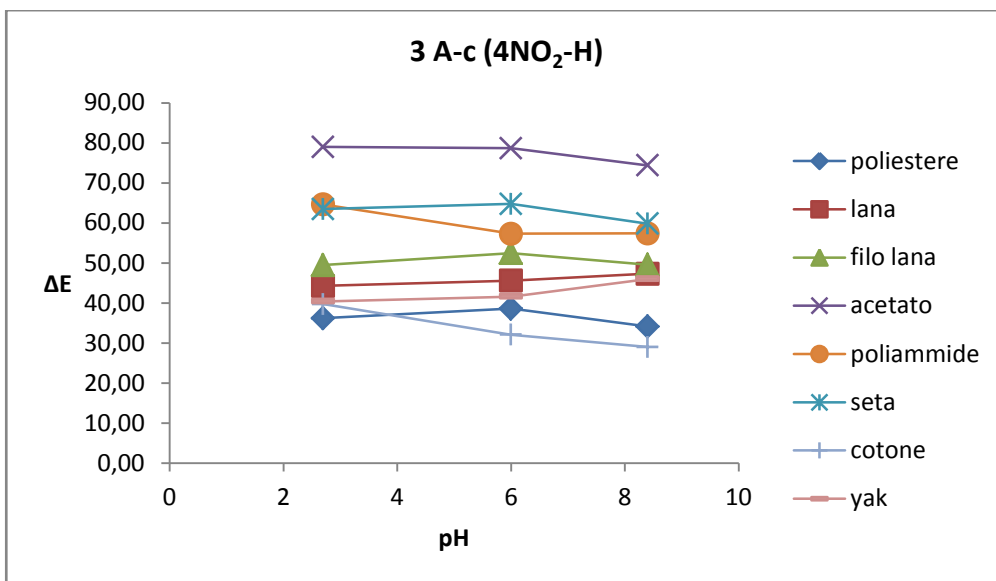


**Grafico 1.** Andamento del  $\Delta E$  (A) in funzione del pH per il colorante **3 A-a** per ogni substrato

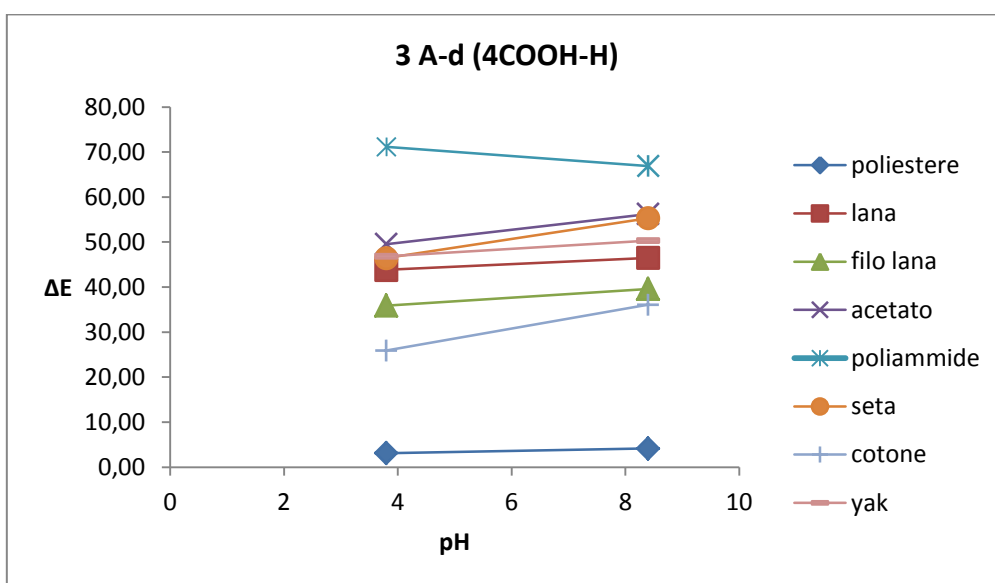


**Grafico 2.** Andamento del  $\Delta E$  (A) in funzione del pH per il colorante **3 A-b** per ogni substrato

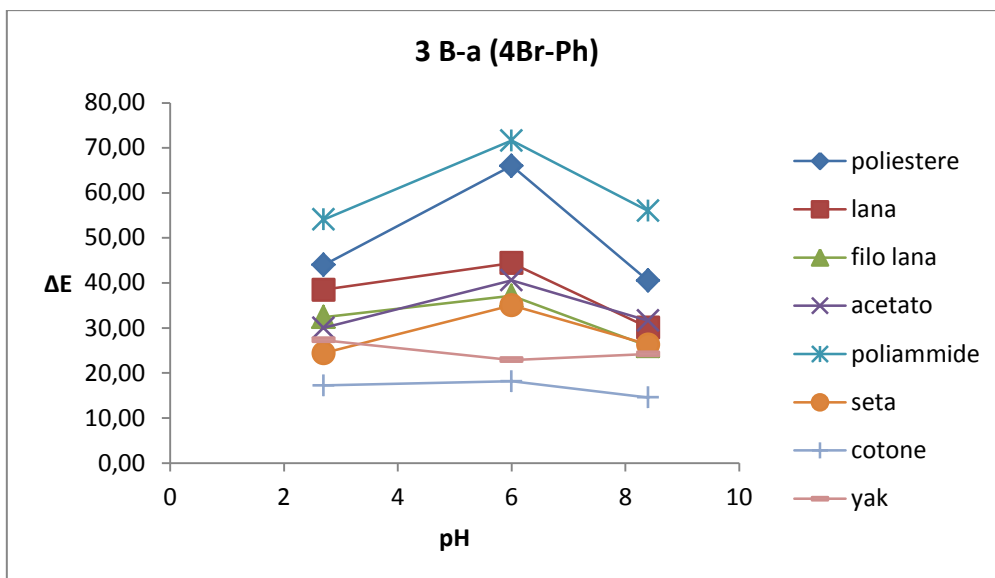




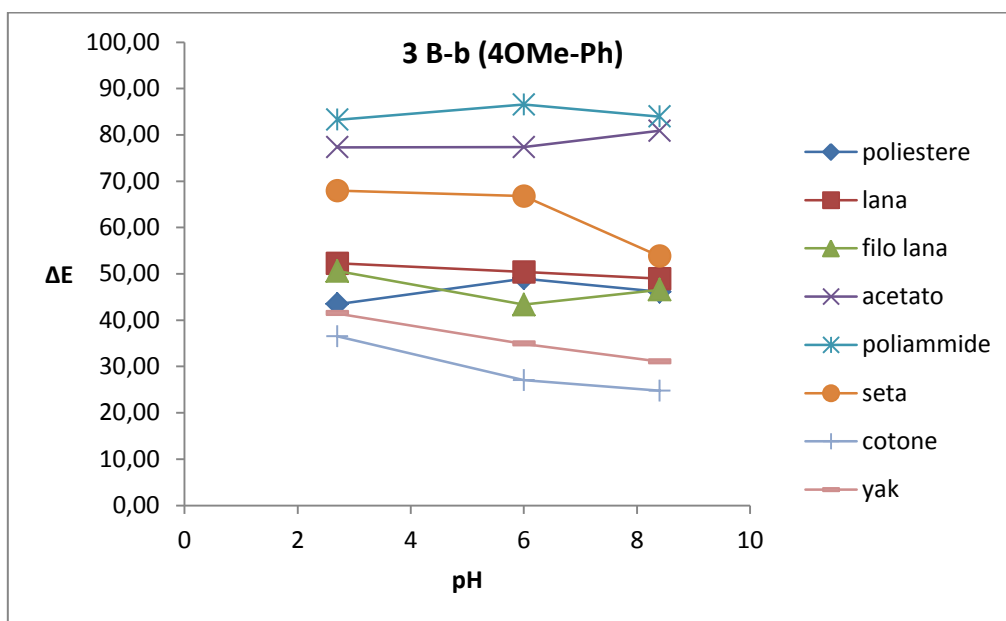
**Grafico 3.** Andamento del  $\Delta E$  (A) in funzione del pH per il colorante **3 A-c** per ogni substrato



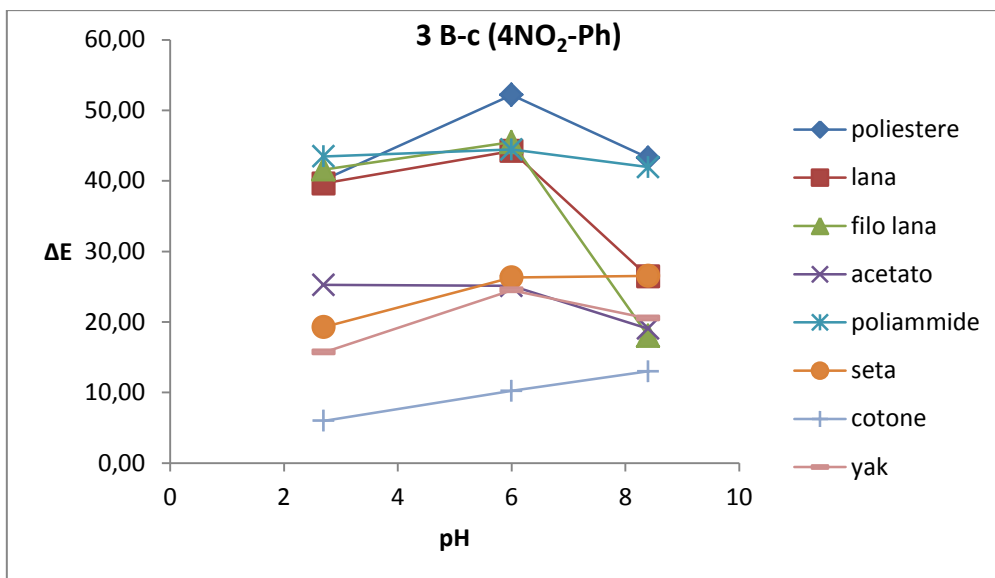
**Grafico 4.** Andamento del  $\Delta E$  (A) in funzione del pH per il colorante **3 A-d** per ogni substrato



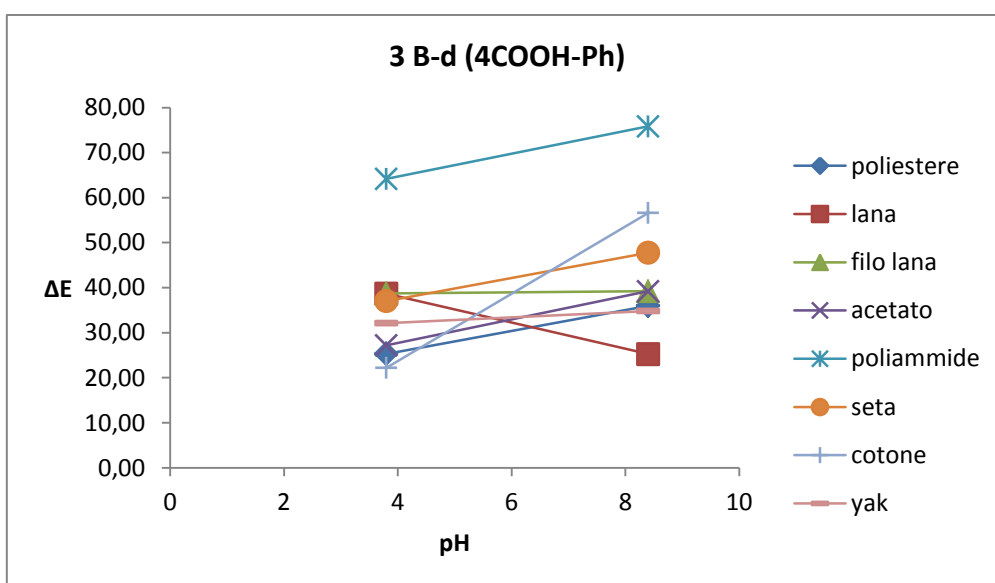
**Grafico 5.** Andamento del  $\Delta E$  (A) in funzione del pH per il colorante **3 B-a** per ogni substrato



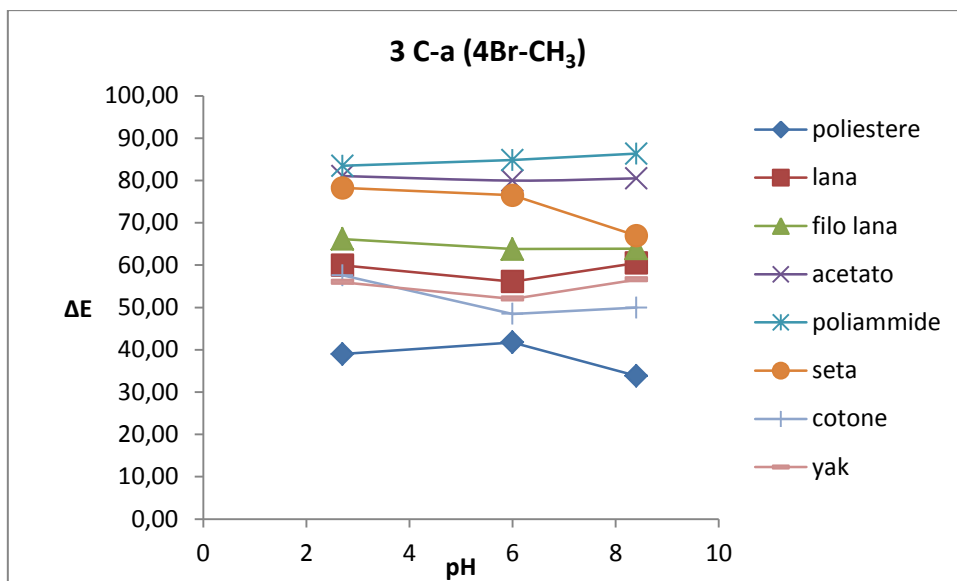
**Grafico 6.** Andamento del  $\Delta E$  (A) in funzione del pH per il colorante **3 B-b** per ogni substrato



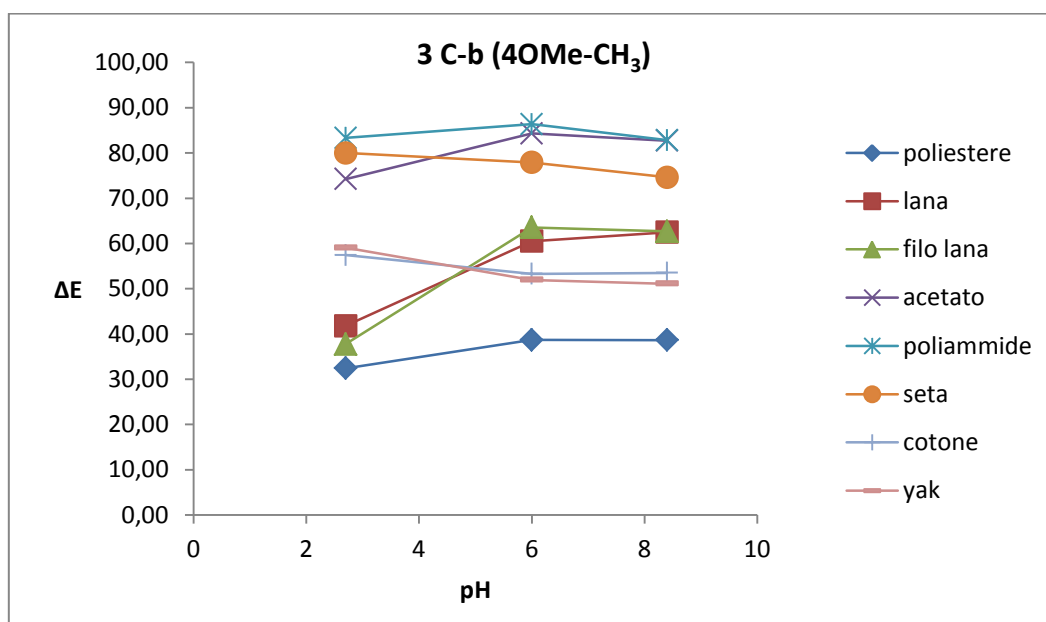
**Grafico 7.** Andamento del  $\Delta E$  (A) in funzione del pH per il colorante **3 B-c** per ogni substrato



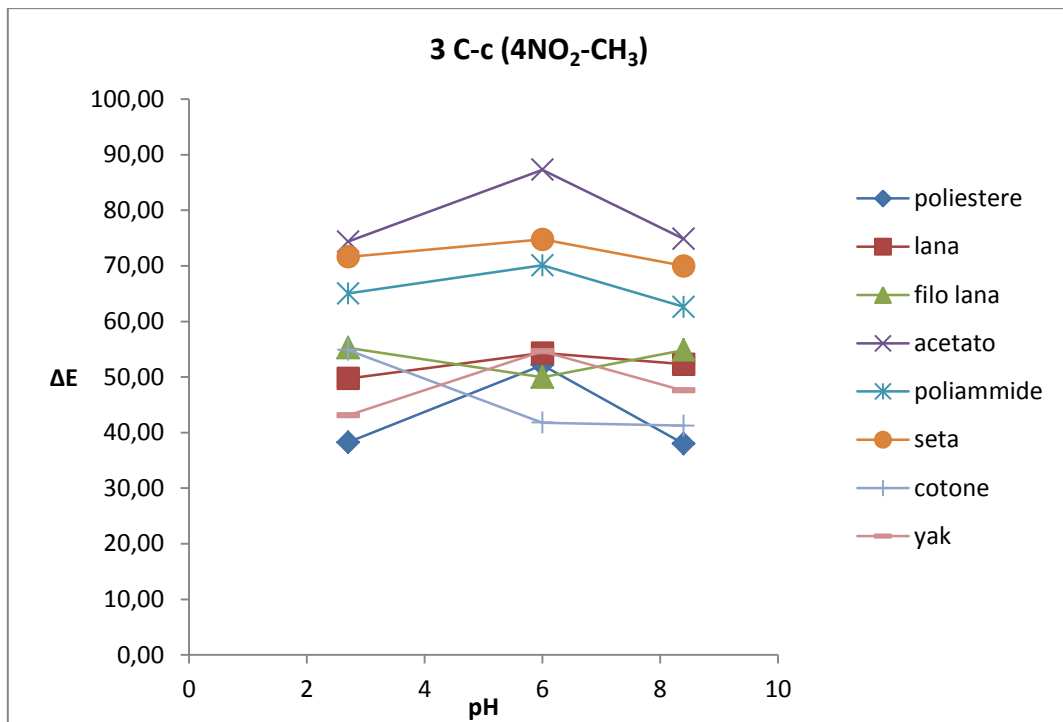
**Grafico 8.** Andamento del  $\Delta E$  (A) in funzione del pH per il colorante **3 B-d** per ogni substrato



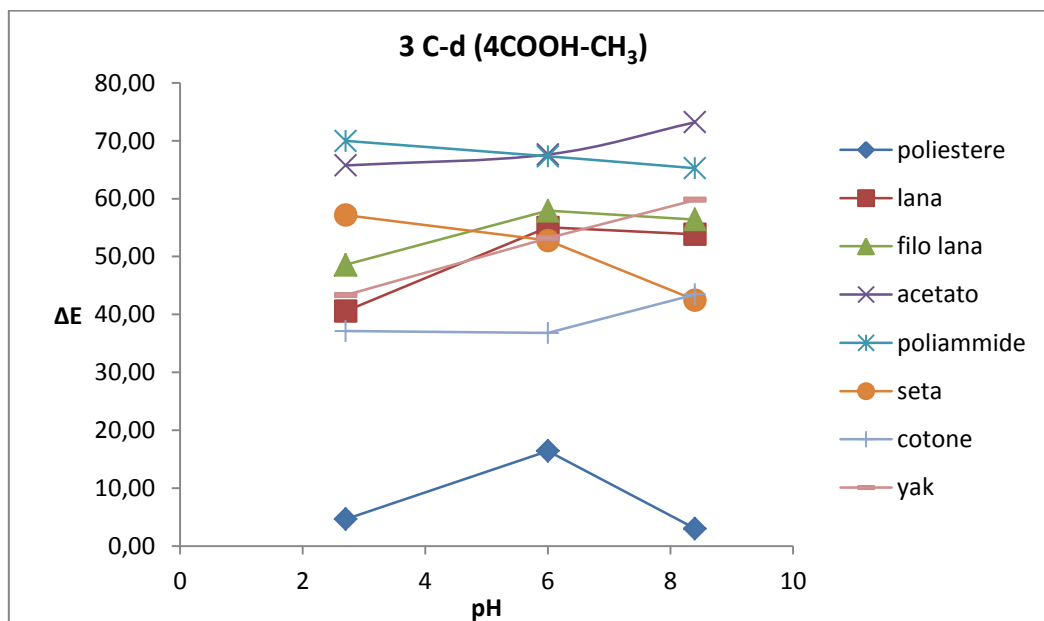
**Grafico 9.** Andamento del  $\Delta E$  (A) in funzione del pH per il colorante **3 C-a** per ogni substrato



**Grafico 10.** Andamento del  $\Delta E$  (A) in funzione del pH per il colorante **3 C-b** per ogni substrato



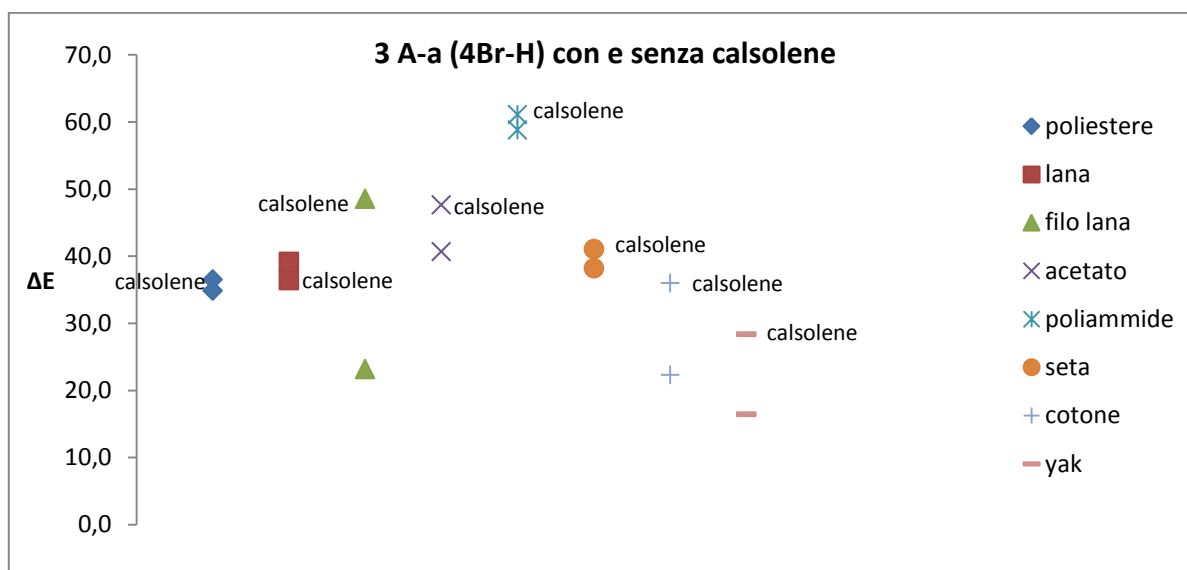
**Grafico 11.** Andamento del  $\Delta E$  (A) in funzione del pH per il colorante **3 C-c** per ogni substrato



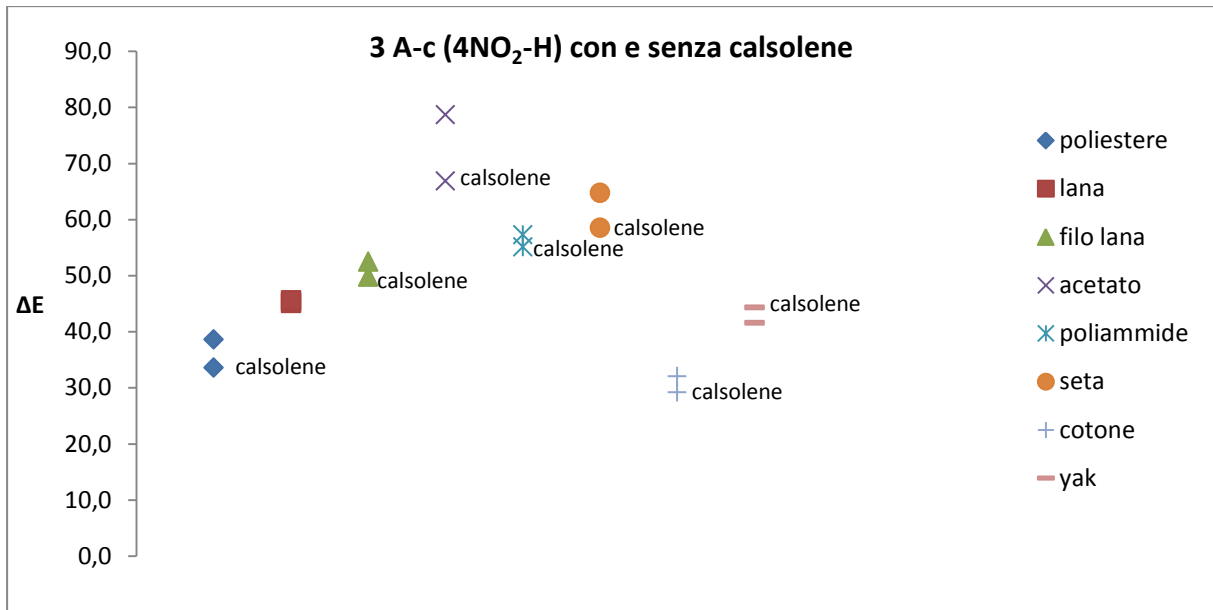
**Grafico 12.** Andamento del  $\Delta E$  (A) in funzione del pH per il colorante **3 C-d** per ogni substrato

#### 4.6 INFLUENZA DELL'AGENTE DISPERDENTE SULLA COLORAZIONE DEI DIVERSI SUBSTRATI

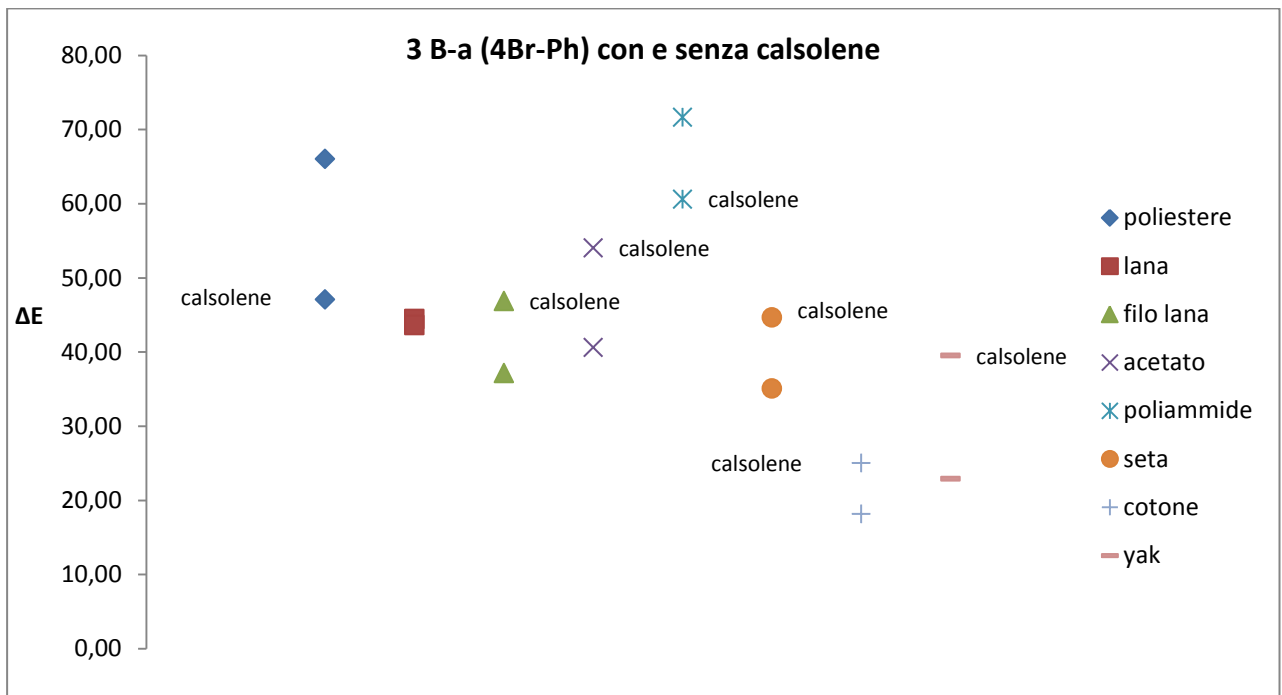
Principalmente come agente disperdente per le prove di colorazione è stato utilizzato l'olio di calsolene e la sua influenza sulla colorazione dei campioni è stata valutata confrontando, per ogni substrato, il  $\Delta E$  (illuminante A) del campione colorato sia con che senza la presenza di esso. Si può notare dai risultati riportati nei grafici 13-18, che la presenza dell'olio di calsolene per i coloranti **3 A-c** ( $4NO_2-H$ ), **3 C-a** ( $4Br-CH_3$ ) e **3 C-c** ( $4NO_2-CH_3$ ) non porta ad una sostanziale differenza della colorazione per la maggior dei substrati rispetto a non usarlo (Grafici 14,17 e 18). Invece per i coloranti **3 A-a** ( $4Br-H$ ) **3 B-a** ( $4Br-Ph$ ) e **3 B-c** ( $4NO_2-Ph$ ) porta ad un miglioramento della colorazione ( $\Delta E$  più elevati) per quasi tutti i substrati (Grafici 13, 15 e 16). Da ciò si evince che l'influenza dell'agente disperdente dipende dal tipo di colorante che si utilizza per il processo di colorazione.



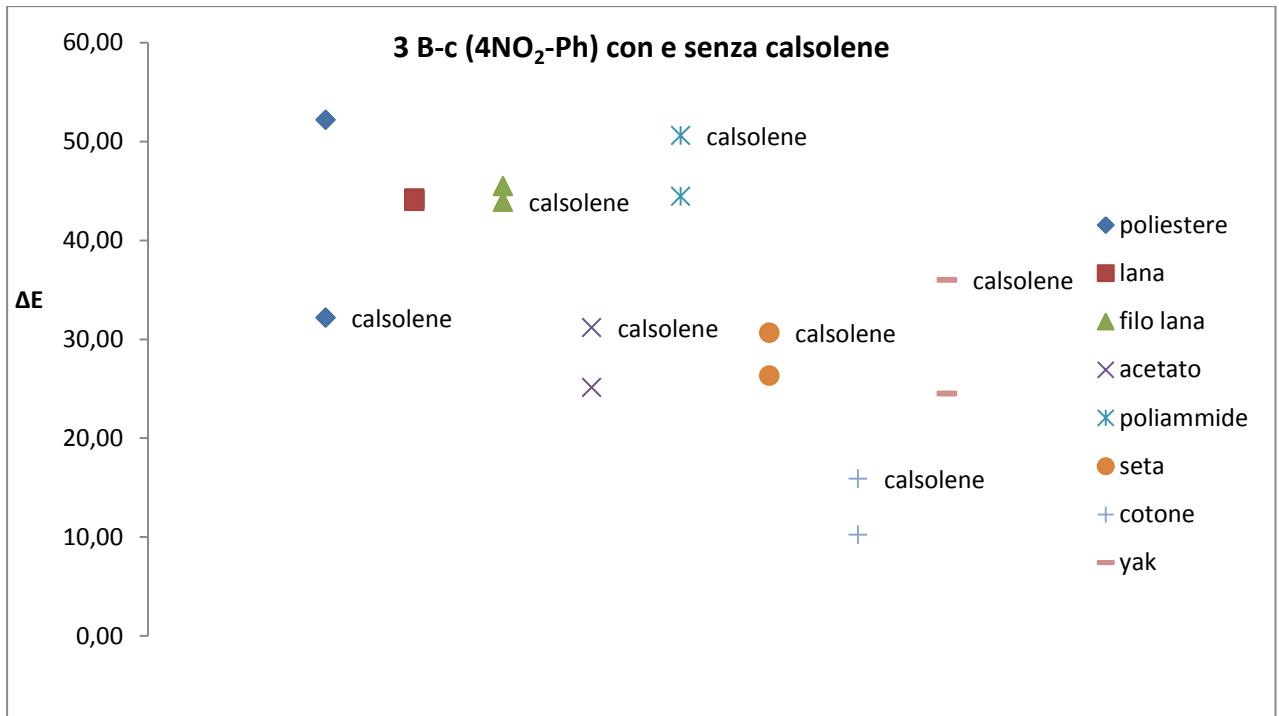
**Grafico 13.** Influenza sul  $\Delta E$  (A) dell'olio di calsolene per il colorante **3 A-a**



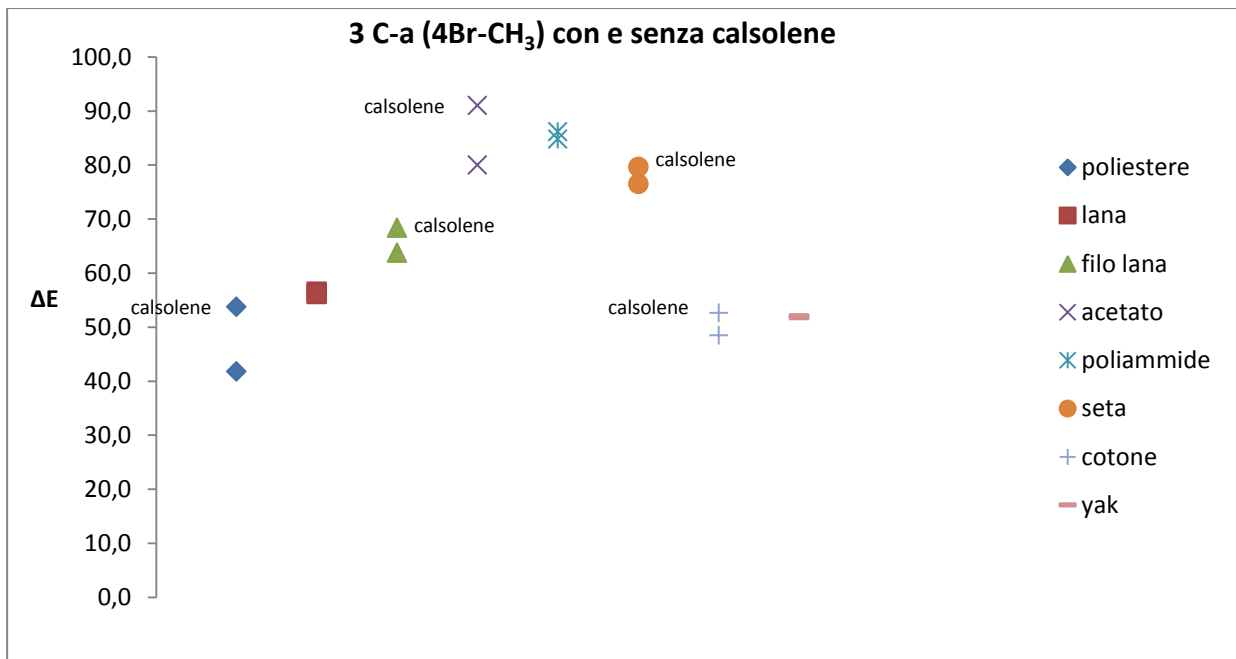
**Grafico 14.** Influenza sul  $\Delta E$  (A) dell'olio di calsolene per il colorante **3 A-c**



**Grafico 15.** Influenza sul  $\Delta E$  (A) dell'olio di calsolene per il colorante **3 B-a**

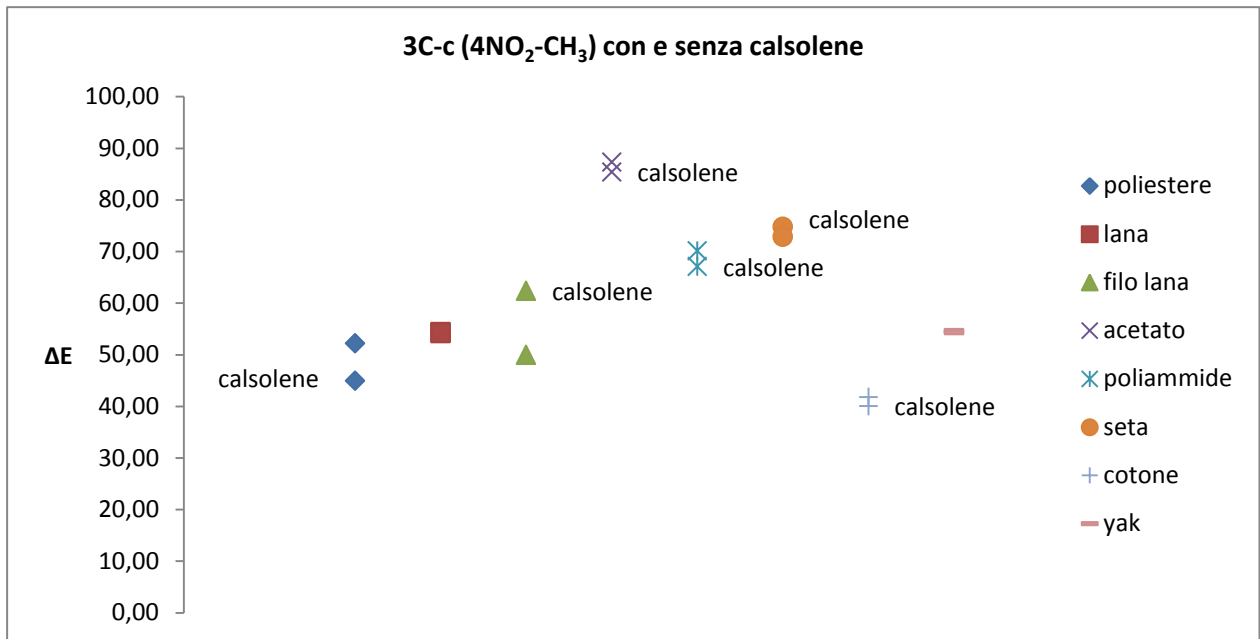


**Grafico 16.** Influenza sul  $\Delta E$  (A) dell'olio di calsolene per il colorante **3 B-c**



**Grafico 17.** Influenza sul  $\Delta E$  (A) dell'olio di calsolene per il colorante **3 C-a**





**Grafico 18.** Influenza sul  $\Delta E$  (A) dell'olio di calsolene per il colorante **3 C-c**

In generale la presenza dell'agente disperdente ha avuto un effetto positivo sul processo di colorazione osservando visivamente colorazioni più uniformi dei campioni. Nonostante ciò il suo utilizzo era stato pensato per migliorare la colorazione di substrati, quali il poliestere, che nelle condizioni operative adoperate dava scarsi risultati. Di fatto però non sono stati ottenuti i miglioramenti sperati. Sono state effettuate anche delle prove di colorazione utilizzando un altro agente disperdente (Hostapal BV) che non ha portato alla colorazione di quasi nessun substrato scartandolo per ulteriori prove, sottolineando così l'importanza della scelta dell'agente disperdente.

## 4.7 RESISTENZA AL LAVAGGIO DELLA COLORAZIONE SUI DIFFERENTI SUBSTRATI

I campioni colorati sia nelle condizioni operative di base che in presenza dell'agente disperdente sono stati lavati a mano in acqua a temperatura ambiente (25 °C) con sapone di Marsiglia e successivamente su tali campioni è stata eseguita la misurazione del colore. La resistenza al lavaggio è stata valutata utilizzando come parametro il *color longevity* che dà una stima di quanto colorante rimane sul substrato dopo il lavaggio ed è definito come il rapporto percentuale tra il  $\Delta E$  del campione lavato e quello non lavato. In Tabella 15, dove vengono riportati i dati ottenuti in seguito al lavaggio dei campioni colorati nelle condizioni operative di base, si può notare che in generale è stata ottenuta una buona resistenza al lavaggio con elevati valori di *color longevity*. In particolare per i substrati di acetato, poliammide e seta sono stati ottenuti valori vicini al 100% per quasi tutti i campioni e per ogni colorante. Ciò è in accordo con quanto riportato nella Figura 43 dove tali substrati mostrano per la maggior parte dei coloranti un  $\Delta E$  più elevato rispetto a quello degli altri substrati. Invece analizzando i valori di *color longevity* in base al colorante si può vedere come per i coloranti 4-metiltiazolici (**3 C-a**, **3 C-b** e **3 C-c**), rispetto agli altri coloranti, si ottengono per la maggior parte dei substrati valori vicini al 100%, confermando l'efficacia di colorazione di tali composti e con i quali sono stati ottenuti i risultati più soddisfacenti. Da notare che i valori di poco al di sopra al 100% non sono del tutto incoerenti tenendo conto dell'incertezza associata ai valori di  $\Delta E$ .

**Tabella 15.** Color longevity calcolato per i substrati colorati nelle condizioni operative di base

campione	$color\ longevity = [\Delta E(A)_{lavato} / \Delta E(A)_{non\ lavato}] * 100$								
	3 A-a	3 A-b	3 A-c	3 B-a	3 B-b	3 B-c	3 C-a	3 C-b	3 C-c
poliestere	56,86	25,62	71,96	40,18	38,78	101,19	64,93	78,21	63,89
lana	63,71	42,16	88,16	63,40	78,08	58,40	104,47	94,66	92,19
acetato	94,51	94,46	110,29	97,24	97,21	100,92	104,28	97,98	98,83
poliammide	96,39	97,65	108,14	99,55	96,60	94,50	105,00	100,82	100,08
seta	101,34	92,85	97,23	87,94	96,32	100,34	102,87	101,59	98,58
cotone	73,31	40,57	81,43	62,81	85,61	57,33	81,26	79,21	90,45
yak	98,69	68,34	94,03	61,94	84,06	64,57	107,88	114,97	103,91

Per quanto riguarda la resistenza al lavaggio dei campioni colorati in presenza dell'olio di calsolene si nota dalla Tabella 16 che essa è rimasta sostanzialmente la stessa rispetto a quella dei campioni colorati nelle condizioni di base.

**Tabella 16.** Color longevity calcolato per i substrati colorati in presenza di un agente disperdente

<i>color longevity</i> =[ $\Delta E(A)$ lavato/ $\Delta E(A)$ non lavato]*100						
<b>campione</b>	<b>3 A-a</b>	<b>3 A-c</b>	<b>3 B-a</b>	<b>3 B-c</b>	<b>3 C-a</b>	<b>3 C-c</b>
<b>poliestere</b>	19,82	90,80	35,02	41,72	57,97	87,63
<b>lana</b>	47,93	92,56	80,87	47,68	96,26	96,38
<b>acetato</b>	89,63	103,17	89,53	104,27	98,75	101,94
<b>poliammide</b>	92,61	101,30	98,04	99,22	94,82	101,07
<b>seta</b>	72,11	96,89	91,65	96,54	94,63	98,20
<b>cotone</b>	33,57	65,05	55,35	29,58	83,05	93,97
<b>yak</b>	95,70	91,97	42,74	19,30	107,42	99,32

## 4.8 CONCLUSIONI

Per la prima volta è stato fatto uno studio comparato sulla capacità colorante dei composti sintetizzati, classificabili come *disperse dyes*, su diversi tipi di fibre, sia naturali che sintetiche. Fino ad ora solo alcuni tra gli azocomposti sintetizzati (**3 B-a**÷**3 B-c**) sono stati applicati come coloranti ed esclusivamente per la colorazione di fibre poliestere.<sup>30</sup> Inoltre tra i composti 4-metiltiazolici (**3 C-a**÷**3 C-d**) solo il **3 C-c** è noto in letteratura,<sup>35</sup> e tali nuovi composti si sono dimostrati essere i migliori per la colorazione di ogni substrato.

Sono stati ottenuti buoni risultati non solo per quanto riguarda la colorazione di substrati sintetici, ma anche per quanto riguarda la colorazione di substrati naturali per i quali tale classe di coloranti di solito non è propriamente progettata, in particolare la seta è quella che ha mostrato il miglior esito. I risultati in assoluto più soddisfacenti sono stati ottenuti per i substrati sintetici di poliammide e acetato sia per la colorazione ottenuta che per la resistenza al lavaggio, operando durante il processo di colorazione in condizioni operative più blande (P= atmosferica e T= 60°C) rispetto a quella che di solito si utilizzano per tali fibre (P> atmosferica e T> 100°C). Inoltre sono state effettuate variazioni delle condizioni operative, o cambiando il pH del bagno colore rispetto a quello di base o aggiungendo un agente disperdente. Mentre i dati ottenuti dalla variazione di pH non sono stati di facile interpretazione, quelli ottenuti dall'aggiunta dell'agente disperdente hanno evidenziato due aspetti: il primo è un effetto positivo sul processo di colorazione in quanto si ottengono colorazioni più uniformi, il secondo mostra come esso influenza (nelle condizioni operative utilizzate) la colorazione di ogni substrato in base al colorante scelto.

## 5 PARTE SPERIMENTALE

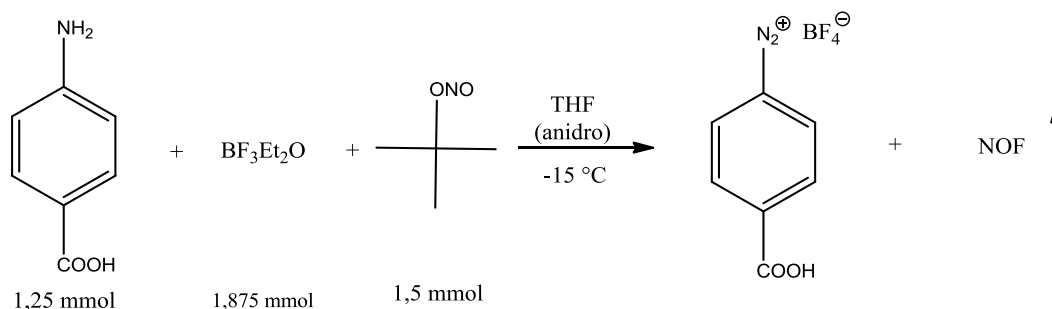
### 5.1 SINTESI E CARATTERIZZAZIONE

Per la sintesi degli azocomposti gli amminotiazoli **1A-C** sono prodotti commerciali e sono stati utilizzati così come ricevuti senza ulteriori purificazioni, mentre l'amminotiazolo **1C** è stato purificato per cromatografia su colonna: la fase stazionaria utilizzata è gel di silice, l'eluente utilizzato è una miscela 9:1 diclorometano/metanolo. I sali di diazonio **2a**, **2b**, **2c** sono prodotti commerciali e sono stati utilizzati senza ulteriori purificazioni; invece il composto **2d** è stato sintetizzato in laboratorio (Paragrafo 5.1.1).

La caratterizzazione è stata effettuata mediante spettroscopia NMR e spettrometria ESI-MS. Gli spettri  $^1\text{H-NMR}$  e  $^{13}\text{C-NMR}$  sono stati registrati mediante spettrometri Varian Mercury 400 e Varian Inova 600 (rispettivamente 399.9 e 599.7 MHz per  $^1\text{H-NMR}$  e 100.6 e 150.8 MHz per  $^{13}\text{C-NMR}$ ) in  $[\text{D}_6]\text{DMSO}$ . I chemical shifts vengono misurati in  $\delta$  (ppm) e i valori delle costanti di accoppiamento sono dati in Hz. Il riferimento preso è quello del solvente (2.5 e 39.5 ppm rispettivamente al  $^1\text{H-NMR}$  e  $^{13}\text{C-NMR}$ ). Gli spettri ESI-MS sono stati registrati con uno strumento WATERS 2Q4000.

Per ogni composto sintetizzato è stato calcolato il coefficiente di estinzione molare ( $\epsilon$ ) mediante spettrofotometria UV-VIS. Per il calcolo di ogni  $\epsilon$  si preparano diverse soluzioni a concentrazione nota dell'azocomposto e si misura l'assorbanza (alla  $\lambda_{\text{max}}$ ) allo spettrofotometro a doppio raggio utilizzando cuvette di quarzo con lunghezza di 1 cm (vedi paragrafo 5.1.3). Lo strumento utilizzato è un Perkin Elmer lamda 12. L'analisi viene condotta adoperando metanolo come solvente con purezza di grado elevata per analisi spettrofotometriche. Tramite un foglio excel viene costruito un grafico  $A$  vs concentrazione molare del composto. Dalla pendenza della retta ottenuta, in accordo con la legge di Lambert-Beer:  $A = \epsilon lc$ , dove  $A$  è l'assorbanza,  $\epsilon$  è il coefficiente di estinzione molare,  $l$  è il cammino ottico (cm) e  $c$  è la concentrazione (mol/L), si riesce a calcolare il valore di  $\epsilon$ .

### 5.1.1 Sintesi del 4-carbossilbenzene diazonio tetrafluoroborato (2d)



In un pallone a 3 colli da 100 mL, con 2 imbuti sgocciolatori e un refrigerante collegato ad una buretta per misurare lo sviluppo di gas, si inserisce il  $\text{BF}_3\text{Et}_2\text{O}$  e lo si raffredda a  $-15\text{ }^\circ\text{C}$  con bagno di ghiaccio e sale. Poi si scioglie in uno dei due imbuti l'ammina in 2,5 mL di THF anidrificato su sodio benzofenone chetile. Si uniscono le due soluzioni mantenendo la T a  $-15\text{ }^\circ\text{C}$  e si lascia reagire per 5 minuti. Nell'altro imbuto si scioglie il t-butil nitrito con 1 mL di THF anidro. Si aggiunge lentamente alla miscela raffreddata in circa 10 minuti e si nota la formazione di un precipitato. Si lascia reagire per 10 minuti a  $-15\text{ }^\circ\text{C}$ . Poi si riscalda fino a  $5\text{ }^\circ\text{C}$  e si lascia reagire per altri 20 minuti. Si aggiungono infine 10 mL di pentano per far precipitare ulteriore prodotto. Dopodiché si filtra la soluzione su filtro di Buchner e il precipitato viene lavato con pentano. Alla fine si ottiene un solido bianco che viene lasciato asciugare all'aria. La resa ottenuta è dell'83% calcolata in base alle moli dell'ammina.

### 5.1.2 Sintesi di 2-ammino-5-arilazo-tiazoli (3)

In un pallone da 50 mL munito di agitazione magnetica si inserisce il derivato 2-amminotiazolico, che viene sciolto in 3-5 mL di acetonitrile, poi si aggiunge il sale di diazonio. Dopo l'aggiunta si nota istantaneamente la colorazione della soluzione e la formazione di un precipitato corrispondente al prodotto desiderato non solubile nel mezzo di reazione. La soluzione viene lasciata in agitazione per 1 ora, dopodiché viene filtrata su filtro di Buchner e il precipitato lavato con acetonitrile e successivamente lasciato asciugare all'aria. Il prodotto che si ottiene è un solido colorato.

Dall'analisi  $^1\text{H-NMR}$  si verifica la presenza e la purezza del prodotto desiderato. Qualora fossero presenti eventuali impurezze dei reagenti visibili nello spettro, il

composto viene purificato lavandolo con 10-15 mL di etanolo in un pallone da 50 mL con agitazione magnetica. Dopo circa mezz'ora si filtra la soluzione su filtro di Buchner, si lava il solido con etanolo e infine lo si lascia asciugare all'aria per poi calcolare la resa.

### 5.1.3 Calcolo coefficiente estinzione molare

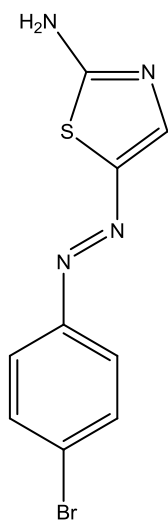
Si prepara una soluzione madre (C1) sciogliendo una quantità di prodotto accuratamente pesata alla bilancia analitica (calcolata su circa  $1 \cdot 10^{-5}$  moli) e portando a volume con metanolo in un matraccio tarato da 20 mL, così ottenendo una concentrazione dell'ordine di  $10^{-4}$  M. Da questa si preparano per diluizione le successive soluzioni portate a volume in matracci tarati da 5 e 10 mL. Generalmente si preparano le seguenti soluzioni:

- C2: diluizione 1/10 della soluzione madre (C1)
- C3: diluizione 1/5 della soluzione C2
- C4: diluizione 1/10 della soluzione C2
- C5: diluizione 2/5 della soluzione C2
- C6: diluizione 3/5 della soluzione C2

Una volta registrato il bianco le soluzioni preparate per diluizione vengono analizzate allo spettrofotometro dove si registra lo spettro e si misura l'assorbanza alla massima lunghezza d'onda ( $\lambda_{max}$ ).

I dati che si ottengono vengono messi in grafico su excel dove poi si costruisce la retta per il calcolo di  $\epsilon$  e sono riportati in Appendice A.

### Prodotto 3 A-a



#### 5-((4-bromophenyl)diazenyl)thiazol-2-amine

Resa: **95%** Colore: **arancione**

**<sup>1</sup>H NMR** (399.9 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 8.45 (s, 2H, NH<sub>2</sub>), 8.06 (s, 1H, CH arom. tiazolo), 7.65 (d, J= 8.8 Hz, 2H, CH arom. p-Br), 7.56 (d, J= 8.8 Hz, 2H, CH arom. p-Br).

**<sup>13</sup>C NMR** (100.6 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 172.0, 151.1, 150.1, 144.2, 132.3, 123.3, 121.8.

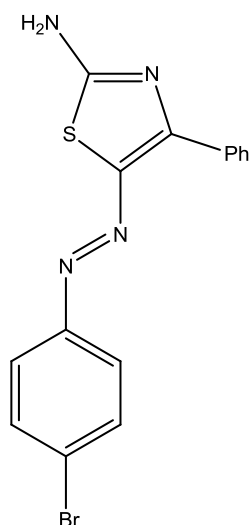
**ESI-MS** (m/z): 281 [M<sup>79</sup>Br - H]<sup>-</sup>, 283 [[M<sup>81</sup>Br - H]<sup>-</sup>

**Punto di fusione:** 180 °C dec.

**ε (λmax= 400 nm):** 31657±1687 mol<sup>-1</sup> L cm<sup>-1</sup>



### Prodotto 3 B-a



### 5-((4-bromophenyl)diazenyl)-4-phenylthiazol-2-amine

Resa: **92%** Colore: **rosso**

**<sup>1</sup>H NMR** (399.9 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 8.52 (s, 2H, NH<sub>2</sub>), 8.20 (m, 2H, CH fenile), 7.67 (d, *J*= 8.8 Hz, 2H, CH arom. p-Br), 7.56 (d, *J*= 8.8 Hz, 2H, CH arom. p-Br) 7.55-7.44 (m, 3H, CH fenile).

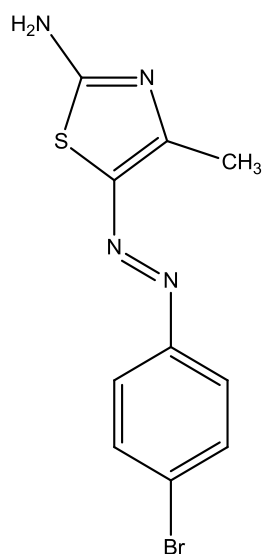
**<sup>13</sup>C NMR** (100.6 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 170.0, 156.5, 151.4, 139.6, 133.5, 132.3, 130.0, 129.7, 128.4, 123.4, 121.5.

**ESI-MS** (m/z): 357 [M<sup>79</sup>Br - H]<sup>-</sup>, 359 [M<sup>81</sup>Br - H]<sup>-</sup>, 393 [M<sup>79</sup>Br + 35Cl]<sup>-</sup>, 395 [M<sup>81</sup>Br + <sup>35</sup>Cl]<sup>-</sup>.

**Punto di fusione:** 232 °C dec.

**ε (λ<sub>max</sub>= 448 nm):** 26157±504 mol<sup>-1</sup> L cm<sup>-1</sup>

**Prodotto 3 C-a**



**5-((4-bromophenyl)diazenyl)-4-methylthiazol-2-amine**

Resa: **60%** Colore: **giallo**

**<sup>1</sup>H NMR** (599.7 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 8.43 (s, 2H, NH<sub>2</sub>) 7.61 (d, *J*= 8.8 Hz, 2H, CH arom. p-Br) 7.55 (d, *J*= 8.8 Hz, 2H, CH arom. p-Br) 2.51 (s, 3H, CH<sub>3</sub>)

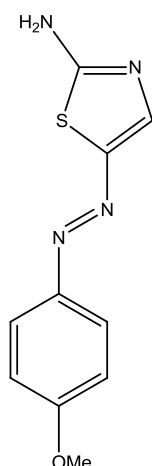
**<sup>13</sup>C NMR** (150.8 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 171.3, 160.8, 151.5, 138.1, 132.1, 123.1, 120.8, 15.9.

**ESI-MS** (m/z): 297 [M<sup>79</sup>Br + H]<sup>+</sup>, 299 [M<sup>81</sup>Br + H]<sup>+</sup>.

**Punto di fusione:** 205 °C dec.

**ε (λ<sub>max</sub>= 405 nm):** 30277±1380 mol<sup>-1</sup> L cm<sup>-1</sup>

### Prodotto 3 A-b



### 5-((4-methoxyphenyl)diazenyl)thiazol-2-amine

Resa: **33%** Colore: **giallo**

<sup>1</sup>H NMR (399.9 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO) : δ (ppm)= 8.13 (s, 2H, NH<sub>2</sub>), 7.89 (s, 1H, CH arom. tiazolo), 7.61 (d, J= 9.2 Hz, 2H, CH arom. p-OCH<sub>3</sub>), 7.02 (d, J= 9.2 Hz, 2H, CH arom. p-OCH<sub>3</sub>), 3.18 (s, 3H, CH<sub>3</sub>).

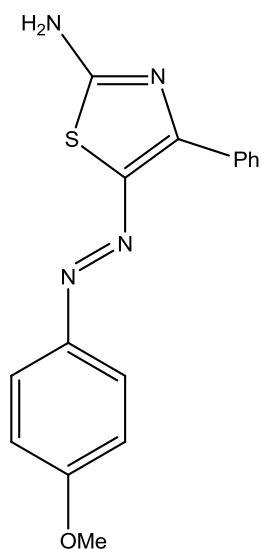
<sup>13</sup>C NMR (100.6 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 170.5, 160.1, 146.8, 146.2, 144.6, 123.4, 114.6, 55.5.

ESI-MS (m/z): 233 [M - H]<sup>-</sup>.

Punto di fusione: 218 °C

ε (λ<sub>max</sub>= 395 nm): 34755±4752 mol<sup>-1</sup> L cm<sup>-1</sup>

**Prodotto 3 B-b**



**5-((4-methoxyphenyl)diazenyl)-4-phenylthiazol-2-amine**

Resa: **74%** Colore: **arancione**

**<sup>1</sup>H NMR** (399.9 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 8.20 (m, 2H, CH fenile), 8.09 (s, 2H, NH<sub>2</sub>), 7.62 (d, *J*= 9.2 Hz, 2H, CH arom. p-OCH<sub>3</sub>), 7.52-7.38 (m, 3H, CH fenile), 7.04 (d, *J*= 9.2 Hz, 2H, CH arom. p-OCH<sub>3</sub>), 3.82 (s, 3H, CH<sub>3</sub>).

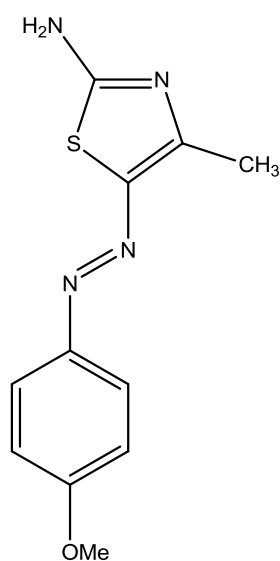
**<sup>13</sup>C NMR** (100.6 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 164.8, 160.8, 146.0, 145.6, 145.2, 139.8, 129.1, 123.6, 123.0, 118.6, 114.6, 55.5.

**ESI-MS** (m/z): 309 [M - H]<sup>-</sup>.

**Punto di fusione:** 210 °C

**ε (λ<sub>max</sub>= 450 nm):** 28429±1212 mol<sup>-1</sup> L cm<sup>-1</sup>

**Prodotto 3 C-b**



**5-((4-methoxyphenyl)diazenyl)-4-methylthiazol-2-amine**

Resa: **47%** Colore: **giallo**

**<sup>1</sup>H NMR** (399.9 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 8.11(s, 2H, NH<sub>2</sub>), 7.60 (d, *J*= 9.02 Hz, 2H, CH arom. p-OCH<sub>3</sub>) 7.00 (d, *J*= 9.02 Hz, 2H, CH arom. p-OCH<sub>3</sub>) 3.81(s, 3H, OCH<sub>3</sub>) 2.49 (s, 3H, CH<sub>3</sub>).

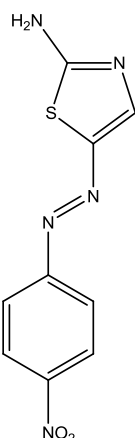
**<sup>13</sup>C NMR** (100.6 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 169.8, 159.6, 157.1, 146.5, 138.2, 122.8, 114.4, 55.4, 15.7.

**ESI-MS** (m/z): 249 [M + H]<sup>+</sup>.

**Punto di fusione:** 208 °C dec.

**ε (λ<sub>max</sub>= 398 nm):** 27957±1143 mol<sup>-1</sup> L cm<sup>-1</sup>

### Prodotto 3 A-c



#### 5-((4-nitrophenyl)diazenyl)thiazol-2-amine

Resa: 77% Colore: marrone

**<sup>1</sup>H NMR** (399.9 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 8.85 (s, 2H, NH<sub>2</sub>), 8.30 (d, *J*=9.2 Hz, 2H, CH arom. p-NO<sub>2</sub>), 8.26 (s, 1H, CH arom. tiazolo), 7.79 (d, *J*=9.2 Hz, 2H, CH arom. p-NO<sub>2</sub>).

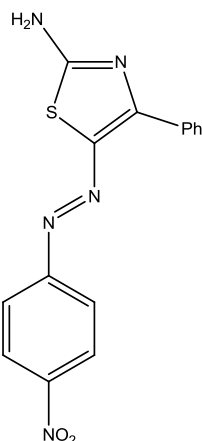
**<sup>13</sup>C NMR** (100.6 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 173.6, 156.3, 154.0, 146.1, 144.5, 125.0, 122.0.

**ESI-MS** (m/z): 248 [M - H]<sup>-</sup>.

**Punto di fusione:** 235 °C dec.

**ε (λ<sub>max</sub>= 421 nm):** 24845±2462 mol<sup>-1</sup> L cm<sup>-1</sup>

### Prodotto 3 B-c



### 5-((4-nitrophenyl)diazenyl)-4-phenylthiazol-2-amine

Resa: **94%** Colore: **verde scuro**

**<sup>1</sup>H NMR** (399.9 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 8.93 (s, 2H, NH<sub>2</sub>), 8.31 (d, *J*=9.2 Hz, 2H, CH arom. p-NO<sub>2</sub>), 8.25-8.21 (m, 2H, CH fenile), 7.77 (d, *J*=9.2 Hz, 2H, CH arom. p-NO<sub>2</sub>), 7.57-7.51 (m, 3H, CH fenile).

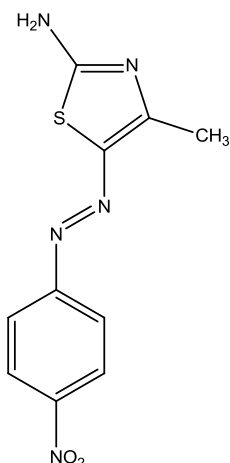
**<sup>13</sup>C NMR** (100.6 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 172.0, 160.3, 156.9, 145.8, 140.1, 133.1, 130.5, 130.4, 128.6, 125.3, 122.1.

**ESI-MS** (m/z): 324 [M - H]<sup>-</sup>.

**Punto di fusione:** 261 °C dec.

**ε (λ<sub>max</sub>= 491 nm):** 29919±537 mol<sup>-1</sup> L cm<sup>-1</sup>

### Prodotto 3 C-c



#### 4-methyl-5-((4-nitrophenyl)diazenyl)thiazol-2-amine

Resa: **81%** Colore: **violetto**

**<sup>1</sup>H NMR** (399.9 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 8.88 (s, 2H, NH<sub>2</sub>), 8.26 (d, *J*= 9.2 Hz, 2H, CH arom. p-NO<sub>2</sub>), 7.75 (d, *J*= 9.2 Hz, 2H, CH arom. p-NO<sub>2</sub>), 2.58 (s, 3H, CH<sub>3</sub>).

**<sup>13</sup>C NMR** (100.6 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 173.2, 165.3, 156.9, 145.3, 138.8, 124.9, 121.5, 16.1.

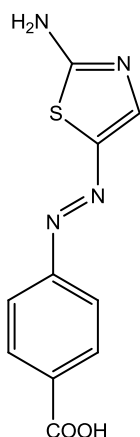
**ESI-MS** (m/z): 262[M - H]<sup>-</sup>.

**Punto di fusione:** 196 °C dec.

**ε (λ<sub>max</sub>= 460 nm):** 31565±765 mol<sup>-1</sup> L cm<sup>-1</sup>



### Prodotto 3 A-d



#### 4-((2-aminothiazol-5-yl)diazenyl)benzoic acid

Resa: **96%** Colore: **arancione**

**<sup>1</sup>H NMR** (599.7 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 12.96 (s, 1H, COOH), 8.57 (s, 2H, NH<sub>2</sub>), 8.13 (s, 1H, CH arom. tiazolo), 8.01 (d, *J*=8.4 Hz, 2H, CH arom. p-COOH), 7.69 (d, *J*=8.4 Hz, 2H, CH arom. p-COOH)

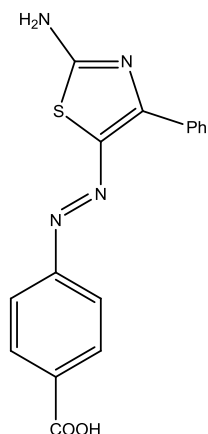
**<sup>13</sup>C NMR** (150.8 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 172.5, 166.8, 154.9, 151.4, 144.4, 130.5, 130.1, 121.3.

**ESI-MS** (m/z): 247 [M - H]<sup>-</sup>.

**Punto di fusione:** 198 °C dec.

**ε (λ<sub>max</sub>= 401 nm):** 24762±2000 mol<sup>-1</sup> L cm<sup>-1</sup>

### Prodotto 3 B-d



#### 4-((2-amino-4-phenylthiazol-5-yl)diazenyl)benzoic acid

Resa: **96%** Colore: **rosso**

**<sup>1</sup>H NMR** (399.9 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 12.96 (s, 1H, COOH), 8.65 (s, 2H, NH<sub>2</sub>), 8.22 (m, 2H, CH fenile), 8.03 (d, *J*= 8.8 Hz, 2H, CH tiazolo), 7.70 (d, *J*= 8.8 Hz, 2H, CH tiazolo) 7.56-7.47 (m, 3H, CH fenile).

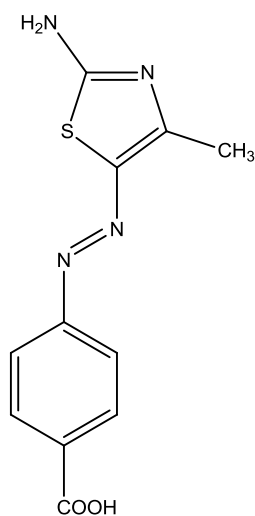
**<sup>13</sup>C NMR** (100.6 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 170.6, 166.9, 157.7, 155.3, 139.9, 133.4, 130.6, 130.2, 129.9, 129.8, 128.5, 121.5.

**ESI-MS** (m/z): 323 [M - H]<sup>-</sup>.

**Punto di fusione:** 255 °C dec.

**ε (λ<sub>max</sub>= 445 nm):** 25810±657 mol<sup>-1</sup> L cm<sup>-1</sup>

### Prodotto 3 C-d



#### 4-((2-amino-4-methylthiazol-5-yl)diazenyl)benzoic acid

Resa: **81%** Colore: **rosso mattone**

**<sup>1</sup>H NMR** (599.7 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 12.83 (s, 1H, COOH), 8.57 (s, 2H, NH<sub>2</sub>), 7.99 (d, J=8.67 Hz, 2H, CH arom. p-COOH), 7.68 (d, J=8.67 Hz, 2H, CH arom. p-COOH), 2.55 (s, 3H, CH<sub>3</sub>).

**<sup>13</sup>C NMR** (150.8 MHz, [D<sub>6</sub>]DMSO): δ (ppm)= 172.0, 167.0, 162.3, 155.4, 138.5, 130.5, 129.4, 121.1, 16.0.

**Punto di fusione:** 223 °C dec.

**ε (λ<sub>max</sub>= 410 nm):** 22543±924 mol<sup>-1</sup> L cm<sup>-1</sup>

## 5.2 COLORAZIONE DEI SUBSTRATI

I coloranti adoperati per la colorazione dei diversi substrati sono stati utilizzati così come ottenuti senza essere precedentemente macinati. I substrati utilizzati sono materiali standard certificati secondo la norma UNI EN ISO 9001:2008 e sono stati acquistati dalla ditta © Ausiliari Tessili S.r.l. (Cornaredo, Mi) Tali materiali sono il cotone tipo 400 (*Bleached Desized Cotton Print Cloth*, Testfabrics, Inc., USA), la lana tipo 527 (*100% Wool Flannel carbonized*, Testfabrics, Inc., USA), la seta (Shanghai Textile Industry Institute of Technical Supervision), il poliestere 720 (*Texturized Polyester Double Knit Jersey (Disperse Dyeable)*, Testfabrics, Inc., USA), la poliammide (Textile Industry Institute of Technical Supervision) e il nastro acetato (Shanghai Textile Industry Institute of Technical Supervision). Mentre la lana di yak, acquistata presso la Socap (Napoli, Na) e il filo di lana presso una merceria, non sono materiali certificati. Gli agenti disperdenti utilizzati sono prodotti commerciali: Hostapal BV (Clariant, CH) e olio di Calsolene (Dharma Trading, CA). Il bagno ad ultrasuoni utilizzato per disperdere il colorante è un Elmasonic S 15 H (37 kHz).

### 5.2.1 Processo di colorazione

Il bagno di colorante è stato preparato inserendo in un becker da 50 mL una quantità di *disperse dye* pari al 10% rispetto al peso del materiale da colorare (indicativamente è di 100 mg), poi è stata aggiunta acqua distillata tenendo conto di un *liquor ratio* di 50:1 (rapporto tra la massa di acqua e quella del materiale). La dispersione del colorante in acqua è avvenuta mediante l'utilizzo di un bagno ad ultrasuoni. Le colorazioni sono state effettuate a 60°C per 1 ora dopodiché il campione è stato sciacquato sotto acqua corrente e lasciato asciugare all'aria. Sono state effettuate prove variando il pH della soluzione o inserendo un agente disperdente. L'ambiente acido è stato ottenuto aggiungendo al bagno di colorante 1-2 gocce di pipetta di Pasteur di una soluzione 1,0 M di acido citrico misurando un pH di 2,7, mentre l'ambiente alcalino è stato raggiunto aggiungendo 3-4 gocce di una soluzione 0,1 M di 2-ammino-2-metil-1propanolo misurando un pH di 8,4. L'agente disperdente è stato aggiunto al bagno colore con una concentrazione di 8,0 g/L.

### 5.2.2 Misurazioni colorimetriche

Lo strumento utilizzato per le misure colorimetriche è stato un Perkin Elmer Lambda 35 UV-Vis-Nir equipaggiato con sfera integratrice in riflettanza e trasmittanza diffusa Labsphere RSA-PE-20, attrezzato di uno standard di bario solfato per il bianco strumentale e dotato di un software per selezionare il metodo colore desiderato: sono stati impostati la scala CIE Lab L, a, b, l'illuminante CIE A e CIE D65 (vedi Figura 19) e l'osservatore a 10°. Per la misura del colore i campioni sono stati posizionati in un apposito supporto in teflon. I parametri L, a, b, ottenuti in diverse condizioni sia per i campioni analizzati che per i bianchi (substrati non soggetti al processo di colorazione) sono riportati in Appendice B. I valori di  $\Delta E$  sono stati calcolati per tutti i campioni considerando come sistema di confronto il substrato non colorato (bianco) trattato nelle stesse condizioni sperimentali. Le tabelle sono riportate in Appendice B.

## 6 BIBLIOGRAFIA

1. J. V. Metzger, *Chemistry of Heterocyclic Compounds: Thiazole and Its Derivatives, Part One, 34*, John Wiley and Sons: New York, 1979.
2. J. V. Metzger, *Chemistry of Heterocyclic Compounds: Thiazole and Its Derivatives, Part two, 34*, John Wiley and Sons: New York, 1979.
3. H. L. Siddiqui, A. Iqbal, S. Ahmed, G. Weaver, *Molecules*, **2006**, *11*, 206-211.
4. H. Karade, M. Sathe, M. P. Kaushik, *Catal. Commun.* **2007**, *8*, 741-746.
5. B. Das, S. V. Reddy, R. Ramu, *J. Mol. Catal. A: Chem.*, **2006**, *252*, 235-237.
6. M. Narender, M. Somi Reddy, R. Sridhar, Y. V. D. Nageswar, K. Rama Rao, *Tetrahedron Lett.*, **2005**, *46*, 5953-5955.
7. K. S. Jain, J. B. Bariwal, M. K. Kathiravan, V. K. Raskar, G. S. Wankhede, N. A. Londhe, S. N. Dighe, *Green Sustain. Chem.*, **2011**, *1*, 36-40.
8. L. Forlani, In *Targets in Heterocyclic Systems*, O. A. Attanasi, D. Spinelli Eds., *Italian Society of Chemistry, Roma* **1997**, *1*, 75-103.
9. L. Forlani, M. Sintoni, *J. Chem. Soc. Perkin Transaction 2*, **1988**, 1959.
10. L. Forlani, A. L. Tocke, E. Del Vecchio, S. Lakhdar, R. Goumont, F. Terrier, Assessing the Nitrogen and Carbon Nucleophilicities of 2-Aminothiazoles through Coupling with Superelectrophilic 4,6-Dinitrobenzofuroxan, *J. Org. Chem.*, **2006**, *71*, 5527-5537.
11. G. Vijayta, K. Vinay, A Review on Biological Activity of Imidazole and Thiazole Moieties and their Derivatives, *Science Int.*, **2013**, *1*, 253-260.
12. S. Mahboobi, S. Dove, A. Sellmer, M. Winkler, E. Eichhorn, H. Pongratz, T. Ciossek, T. Baer, T. Maier, T. Beckers. *J. Med. Chem.*, **2009**, *52*, 2265-2279.
13. De Logu A, M. Saddi, M. C. Cardia, R. Borgna, C. Sanna, B. Saddi, E. Maccioni, In Vitro Activity of 2-Cyclo-Hexylidenedihydrazo-4-phenyl-thiazole Compared with those of Amphotericin B and Fluconazole against Clinical Isolates of *Candida Spp.* and Fluconazole-Resistant *Candida Albicans*, *Antimicrob. Chemother.*, **2005**, *55*, 692-698.
14. M. C. Wilkes, P. B. Lavrik, J. Greenplate, Synthesis of N-Benzoyl-N-Alkyl-2-aminothiazoles: *Heliothis Virescens* Proinsecticides, *Agric. Food Chem.*, **1991**, *39*, 1652-1657.

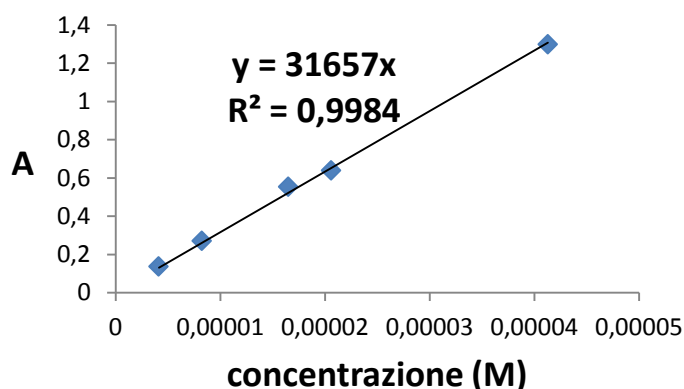
15. B. S. Holla, K. V. Malini, B. S. Rao, B. K. Sarojini and N. S. Kumari, Synthesis of Some New 2,4-disubstituted Thiazoles as Possible Antibacterial and Anti-Inflammatory Agents, *Eur. J. Med. Chem.*, **2003**, *38*, 313-318.
16. T. K. Venkatachalam, E. A. Sudbeck, C. Mao and F. M. Uckun, Anti-HIV Activity of Aromatic and Heterocyclic Thiazolyl Thiourea Compounds, *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, **2001**, *11*, 523-528.
17. D. Das, P. Sikdar, M. Bairagi, Recent developments of 2-Aminothiazoles in Medicinal Chemistry, *Eur. J. Med. Chem.*, **2016**, *109*, 89-98.
18. R. M. Christie, *Colour Chemistry*, Royal Society of Chemistry, 2001.
19. A. D. Broadbent, *Basic Principles of Textile Coloration*, Society of Dyers and Colourists, 2001.
20. J. Koh, *Dyeing with Disperse Dyes in Textile Dyeing*, P. J. Hansen Ed., InTech, 2011, cap. 10 pp. 195-220
21. M. E. Khalifa, S. H. Abdel-Hafez, A. A. Gobouri, M. I. Kobeasy, Synthesis and Biological Activity of Novel Arylazothiazole Disperse Dyes Containing Selenium for Dyeing Polyester Fiber, *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, **2015**, *190*, 461-476.
22. M. E. Khalifa, E. Abdel-Latif, A. A. Gobouri, Disperse Dyes Based on 5-Arylazothiazol-2-ylcarbamoyl-thiophenes: Synthesis, Antimicrobial Activity and Their Application on Polyester, *J. Het. Chem.*, **2015**, *52*, 674-680.
23. H. E. Gaffer, M. M. G. Fouda, M. E. Khalifa, Synthesis of Some Novel 2-Amino-5-arylazothiazole Disperse Dyes for Dyeing Polyester Fabrics and Their Antimicrobial Activity, *Molecules*, **2016**, *21*, 122-132.
24. H. R. Maradiya, V. S. Patel, Synthesis and Application of Disperse Dyes Based on 2-Aminothiazole Derivates, *Chem. Het. Comp.*, **2003**, *39*, 357-363.
25. M.R. Yazdanbakhsh, A. Mohammadi, M. Abbasnia, Some Heterocyclic Azo Dyes Derived from Thiazolyl Derivatives; Synthesis; Substituent Effects and Solvatochromic Studies, *Spectrochimica Acta Part A*, **2010**, 1084-1087.
26. M. S. Yen, I. J. Wang, A Facile Synthesis and Absorption Characteristics of Some Monoazo Dyes in Bis-Heterocyclic Aromatic Systems Part II: Synthesis of 4-(p-Substituted) Phenyl-2-(2-Pyrido-5-yl and 5-Pyrazolo-4-yl)Azo-Thiazole Derivatives, *Dyes Pigm.*, **2004**, *63*, 1-9.

27. M. A. Metwally, E. Abdel-latif, F. A. Amer, G. Kaupp, Synthesis of New 5-Thiazolyl Azo-Disperse Dyes for Dyeing Polyester Fabrics, *Dyes Pigm.*, **2004**, *60*, 249–264.
28. K. Singh, S. Singh, J. A. Taylor, Monoazo Disperse Dyes—Part 1: Synthesis, Spectroscopic Studies and Technical Evaluation of Monoazo Disperse Dyes Derived from 2-Aminothiazoles, *Dyes Pigm.*, **2002**, *54*, 189–200.
29. G. Hallas, J.H. Choi, Synthesis and Spectral Properties of Azo Dyes Derived from 2-Aminothiophenes and 2-Aminothiazoles, *Dyes Pigm.*, **1999**, *42*, 249-265.
30. M.A. Metwally, E. Abdel-latif, A.M. Khalil, F.A. Amer, G. Kaupp, New Azodisperse Dyes with Thiazole Ring for Dyeing Polyester Fabrics, *Dyes Pigm.*, **2004**, *62* 181–195.
31. A. Chrisment, *Colore e Colorimetria*, Edition 3C: Paris, 2006.
32. C. Boga, S. Cino, G. Micheletti, D. Padovan, L. Prati, A. Mazzanti, N. Zanna, New Azo-decorated N-pyrrolidinylthiazoles: Synthesis, Properties and an Unexpected Remote Substituent Effect Transmission, *Org. Biomol. Chem.*, **2016**, *14*, 7061-7068.
33. N. Zanna, Reactivity of Activated Electrophiles And Nucleophiles: Labile Intermediates And Properties of the Reaction Products, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Tesi di Dottorato in Scienze Chimiche, **2013**.
34. C. R. Robbins, *Chemical and Physical Behavior of Human Hair*, 5th Ed., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012.
35. Beyer, Wolter, Über Thiazole, XI, Mitteil.: Die Darstellung von 2-Amino-5-phenylazo-thiazolen und die reduktive Spaltung von Azothiazolen-(2.2') und 2-Phenylazo-thiazolen durch Phenylhydrazin, *Chem. Ber.*, **1952**, *85*, 1077-1083.



## APPENDICE A

Calcolo  $\epsilon$  ( $\lambda_{\max} = 400 \text{ nm}$ ) di 3 A-a:

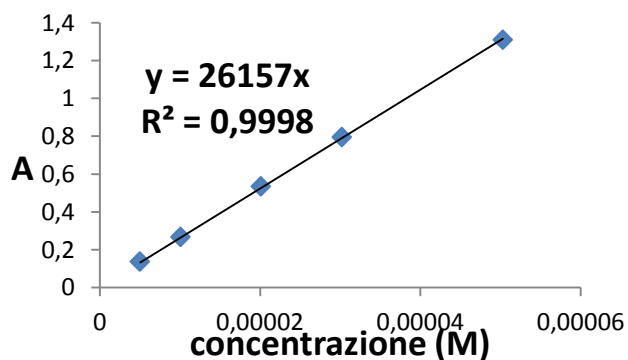


campione	A	conc (M)	l (cm)
C2	1,299	0,0000413	1
C3	0,2707	0,00000826	1
C4	0,137	0,00000413	1
C5	0,553	0,0000165	1
C6	0,6395	0,0000206	1

Legenda:  $S(y/x)$  = incertezza sulla retta  
 $S_b$  = incertezza sulla pendenza  
 $F$  = gradi di libertà (N-2)  
 $(\alpha=0.05)$  intervallo di fiducia del 95%

$\epsilon (\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1})$	$S(y/x)$	$S_b$	Err. su $\epsilon (\alpha=0.05) F=3$
31657	0,020774901	717,2208388	31657±1687

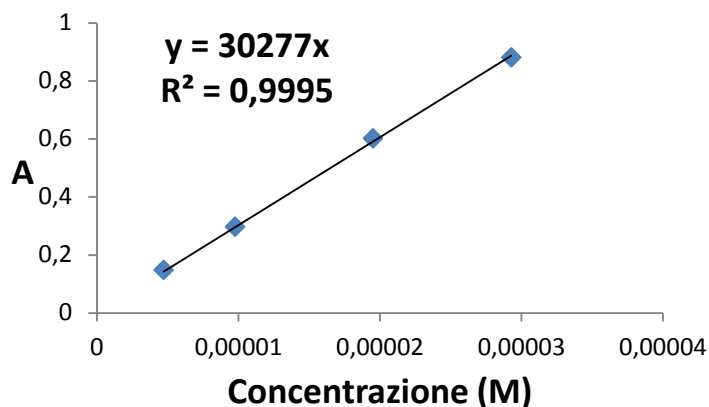
Calcolo  $\epsilon$  ( $\lambda_{\max} = 448 \text{ nm}$ ) di 3 B-a:



campione	A	conc (M)	l (cm)
C2	1,3087	0,0000503	1
C3	0,2661	0,0000101	1
C4	0,1367	0,00000503	1
C5	0,5348	0,0000201	1
C6	0,7941	0,0000302	1

$\epsilon (\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1})$	$S(y/x)$	$S_b$	Err. su $\epsilon (\alpha=0.05) F=3$
26157	0,007703617	214,091449	26157±504

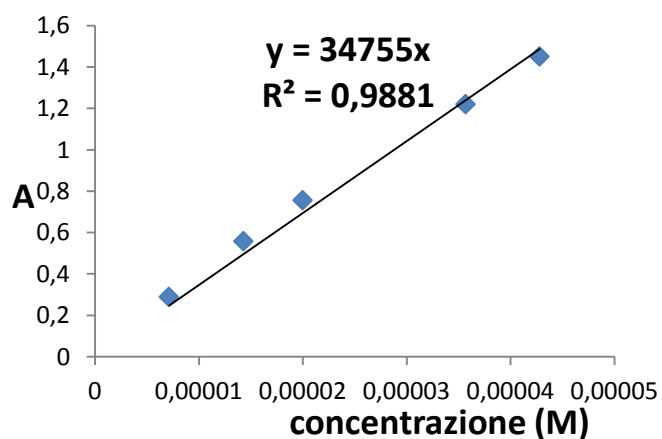
**Calcolo  $\epsilon$  ( $\lambda_{\max}= 405 \text{ nm}$ ) di 3 C-a:**



campione	A	conc (M)	l (cm)
C3	0,29648	0,00000976	1
C4	0,14692	0,00000472	1
C5	0,60042	0,00001952	1
C6	0,87924	0,00002928	1

$\epsilon$ ( $\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ )	S(y/x)	Sb	Err. su $\epsilon$ ( $\alpha=0.05$ ) F=2
30277	0,008902781	472,6468953	30277 $\pm$ 1380

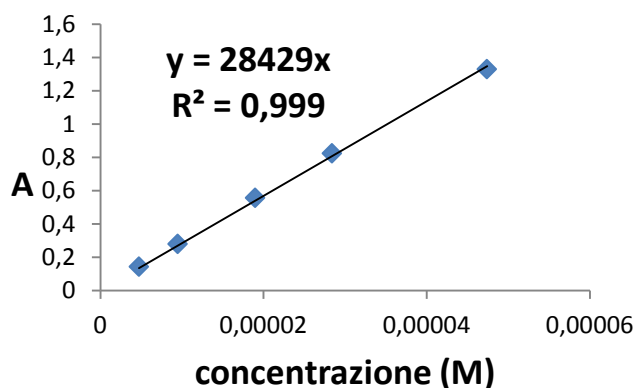
**Calcolo  $\epsilon$  ( $\lambda_{\max}= 395 \text{ nm}$ ) di 3 A-b:**



campione	A	conc. (M)	l(cm)
C2	0,5583	0,0000143	1
C3	0,2879	0,00000714	1
C4	1,2196	0,0000357	1
C5	1,4499	0,0000428	1
C6	0,7553	0,00002	1

$\epsilon$ ( $\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ )	S(y/x)	Sb	Err. su $\epsilon$ ( $\alpha=0.05$ ) F= 3
34755	0,060068	2019,526	34755 $\pm$ 4752

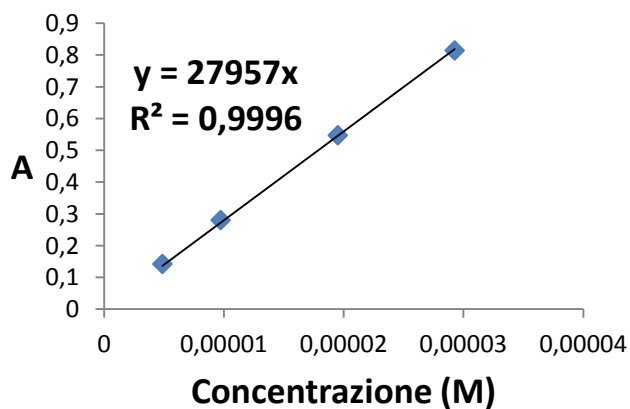
**Calcolo  $\epsilon$  ( $\lambda_{\max}= 450 \text{ nm}$ ) di 3 B-b:**



campione	A	conc (M)	l (cm)
c2	1,3298	0,0000474	1
c3	0,2782	0,00000948	1
c4	0,1421	0,00000474	1
c5	0,5557	0,000019	1
c6	0,8225	0,0000284	1

$\epsilon$ ( $\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ )	S(y/x)	Sb	Err. su $\epsilon$ ( $\alpha=0.05$ ) F=3
28429	0,017457895	514,8979411	28429 $\pm$ 1212

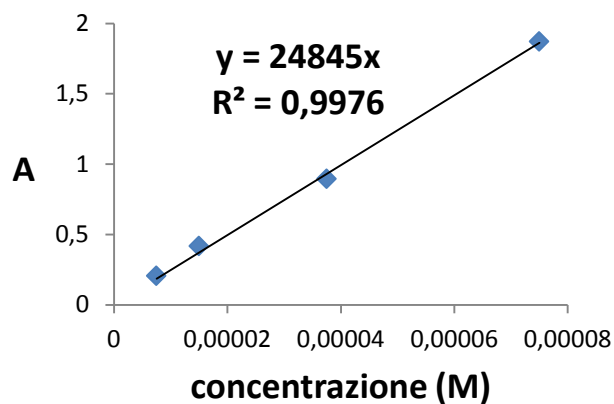
**Calcolo  $\epsilon$  ( $\lambda_{\max}= 398 \text{ nm}$ ) di 3 C-b:**



campione	A	conc (M)	l (cm)
C3	0,28028	0,00000976	1
C4	0,1423	0,00000488	1
C5	0,54674	0,00001952	1
C6	0,81439	0,000029278	1

$\epsilon$ ( $\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ )	S(y/x)	Sb	Err. su $\epsilon$ ( $\alpha=0.05$ ) F=2
27957	0,007336361	391,4695816	27957 $\pm$ 1143

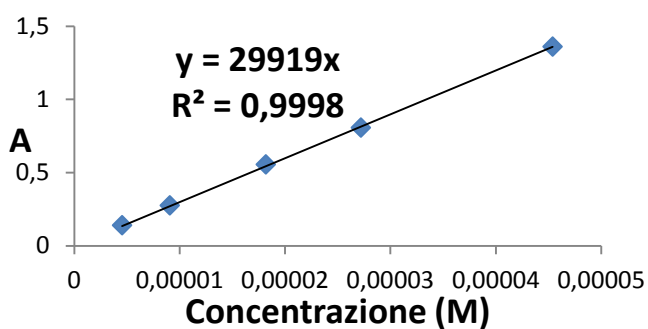
**Calcolo  $\epsilon$  ( $\lambda_{\max}= 421 \text{ nm}$ ) di 3 A-c:**



campione	A	conc (M)	l (cm)
C2	1,8715	0,000075	1
C3	0,4176	0,000015	1
C4	0,2057	0,0000075	1
C5	0,8935	0,0000375	1

$\epsilon$ ( $\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ )	S(y/x)	Sb	Err. su $\epsilon$ ( $\alpha=0.05$ ) F=3
24845	0,044258	843,0011	24845 $\pm$ 2462

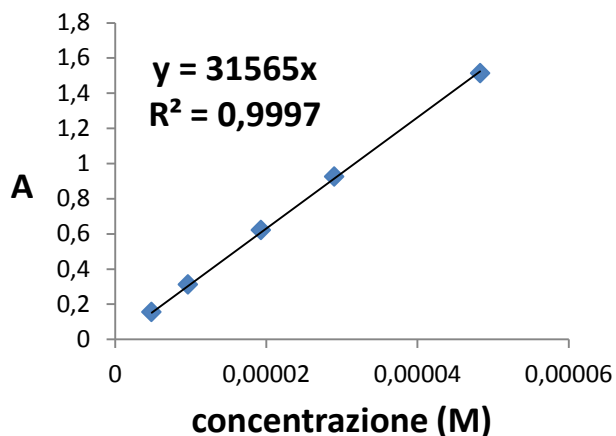
**Calcolo  $\epsilon$  ( $\lambda_{\max}= 491 \text{ nm}$ ) di 3 B-c:**



campione	A	conc (M)	l (cm)
C2	1,359	0,0000454	1
C3	0,2747	0,00000908	1
C4	0,1392	0,00000454	1
C5	0,5531	0,0000182	1
C6	0,8054	0,0000272	1

$\epsilon$ ( $\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ )	S(y/x)	Sb	Err. su $\epsilon$ ( $\alpha=0.05$ ) F=3
29919	0,007417049	228,396352	29919 $\pm$ 537

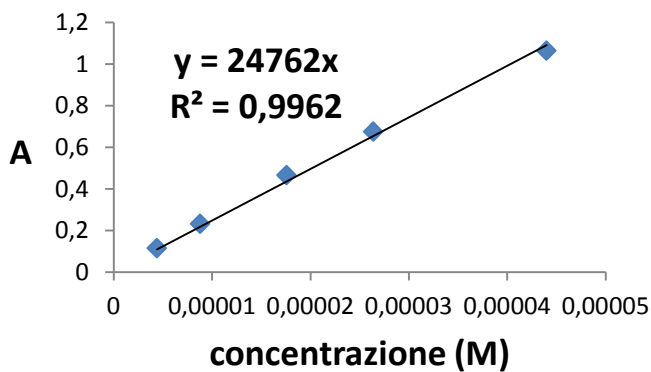
**Calcolo  $\epsilon$  ( $\lambda_{\max}= 460 \text{ nm}$ ) di 3 C-c:**



campione	A	conc (M)	l (cm)
C2	1,5133	0,0000483	1
C3	0,3106	0,00000966	1
C4	0,1541	0,00000483	1
C5	0,621	0,0000193	1
C6	0,9242	0,000029	1

$\epsilon (M^{-1}cm^{-1})$	S(y/x)	Sb	Err. su $\epsilon$ ( $\alpha=0.05$ ) F=3
31565	0,011243816	325,282889	31565 $\pm$ 765

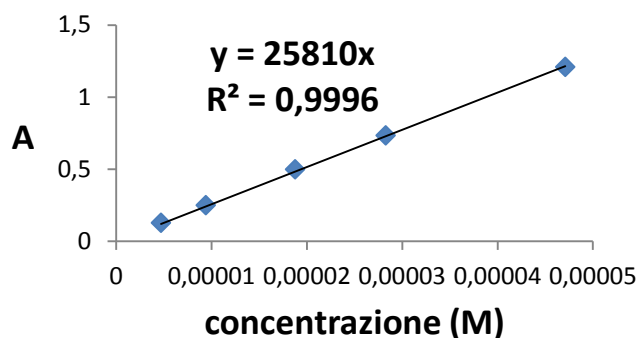
**Calcolo  $\epsilon$  ( $\lambda_{\max}= 401 \text{ nm}$ ) di 3 A-d:**



campione	A	conc (M)	l (cm)
C2	1,0628	0,000044	1
C3	0,2314	0,0000088	1
C4	0,1145	0,0000044	1
C5	0,4644	0,0000176	1
C6	0,6738	0,0000264	1

$\epsilon (M^{-1}cm^{-1})$	S(y/x)	Sb	Err. su $\epsilon$ ( $\alpha=0.05$ ) F=3
24762	0,02675762	849,8843291	24762 $\pm$ 2000

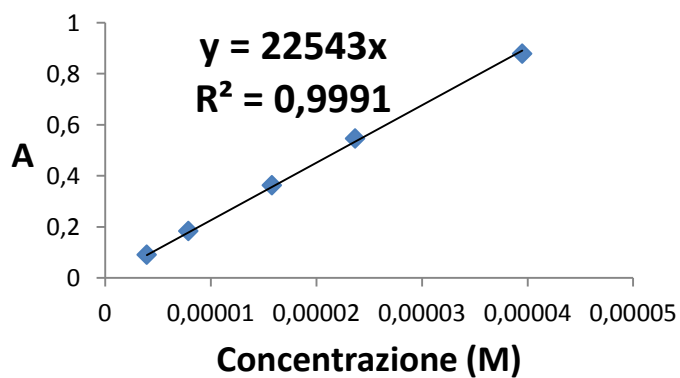
**Calcolo  $\epsilon$  ( $\lambda_{\max}= 445 \text{ nm}$ ) di 3 B-d:**



campione	A	conc (M)	l (cm)
C2	1,2077	0,0000471	1
C3	0,249	0,00000942	1
C4	0,1267	0,00000471	1
C5	0,4968	0,0000188	1
C6	0,7332	0,0000283	1

$\epsilon$ ( $\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ )	S(y/x)	Sb	Err. su $\epsilon$ ( $\alpha=0.05$ ) F=3
25810	0,009410332	279,1286639	25810 $\pm$ 657

**Calcolo  $\epsilon$  ( $\lambda_{\max}= 410 \text{ nm}$ ) di 3 C-d:**



campione	A	conc (M)	l (cm)
C2	0,87896	0,0000395	1
C3	0,18365	0,0000079	1
C4	0,09196	0,00000395	1
C5	0,36309	0,0000158	1
C6	0,54652	0,0000237	1

$\epsilon$ ( $\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ )	S(y/x)	Sb	Err. su $\epsilon$ ( $\alpha=0.05$ ) F=3
22543	0,011094167	392,5207456	22543 $\pm$ 924

## APPENDICE B

bianco

illuminate A; osservatore 10°

campione	L	a	b
poliestere	82,29	-0,9	-1,33
lana	76,91	2,32	11,04
filo lana	80,32	1,4	7,31
acetato	82,86	-0,24	-0,18
poliammide	81,07	-0,94	-1,73
seta	83,49	-0,64	-0,98
cotone	83,21	-0,65	-1,38
yak*	72,3±0,1	1,67±0,06	6,5±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Bianco

illuminate D 65; osservatore 10°

campione	L	a	b
poliestere	82,42	-0,56	-1,09
lana	76,22	-0,43	10,97
filo lana	79,87	-0,29	7,12
acetato	82,87	-0,15	-0,11
poliammide	81,23	-0,49	-1,49
seta	83,58	-0,36	-0,82
cotone	83,32	-0,25	-1,23
yak*	72,1±0,1	-0,02±0,02	6,4±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

bianco calsolene (agente  
disperdente)

illuminate A; osservatore 10°

campione	L	a	b
poliestere	83,02	-0,82	-1,83
lana	79,68	2,35	11,12
filo lana	82,57	1,47	7,35
acetato	84,71	-0,35	-1,26
poliammide	83,32	-0,81	-2,12
seta	83,74	-0,62	-1,76
cotone	84,58	-0,61	-1,93
yak*	73,00±0,03	1,5±0,1	6,8±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

bianco calsolene

illuminante D 65; osservatore 10°

campione	L	a	b
poliestere	83,16	-0,21	-1,71
lana	78,99	-0,32	10,94
filo lana	78,55	-0,13	6,97
acetato	84,78	0,15	-1,27
poliammide	83,47	-0,09	-2,02
seta	83,85	0	-1,7
cotone	84,7	0,09	-1,9
yak*	72,54±0,04	-0,05±0,02	6,6±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-a (4Br-H) per ogni substrato a pH 6

illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	78,21	7,36	32,27	-4,08	8,26	33,60	34,84
lana	73,81	11,10	49,06	-3,10	8,78	38,02	39,14
filo lana	76,25	3,98	29,98	-4,07	2,58	22,67	23,18
acetato	83,78	1,55	40,44	0,92	1,79	40,62	40,67
poliammide	78,22	5,42	58,96	-2,85	6,36	60,69	61,09
seta	81,02	3,53	36,88	-2,47	4,17	37,86	38,17
cotone	82,24	3,08	20,57	-0,97	3,73	21,95	22,29
yak*	70,9±0,3	3,74±0,04	34,75±0,06	-1,4±0,3	2,1±0,1	28,2±0,3	28,4±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezza

Dati colorimetrici di 3 A-a (4Br-H) per ogni substrato colorato a pH 6

illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	76,07	3,71	29,69	-6,35	4,27	30,78	31,72
lana	70,84	5,57	46,62	-5,38	6,00	35,65	36,55
filo lana	74,60	-0,17	28,53	-5,27	0,12	21,41	22,05
acetato	82,25	-7,07	42,70	-0,62	-6,92	42,81	43,37
poliammide	75,80	-3,45	60,29	-5,43	-2,96	61,78	62,09
seta	79,36	-4,03	38,13	-4,22	-3,67	38,95	39,35
cotone	81,05	-0,68	20,05	-2,27	-0,43	21,28	21,41
yak*	69,2±0,2	-2,32±0,02	34,77±0,06	-2,9±0,3	-2,29±0,03	28,4±0,3	28,6±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze



Dati colorimetrici di 3 A-a (4Br-H) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	78,98	5,37	39,25	-3,31	6,27	40,58	41,19
lana	76,51	10,69	46,23	-0,40	8,37	35,19	36,17
filo lana	75,71	10,21	48,75	-4,61	8,81	41,44	42,62
acetato	82,58	2,78	42,71	-0,28	3,02	42,89	43,00
poliammide	80,66	3,77	54,80	-0,41	4,71	56,53	56,73
seta	82,17	0,94	31,21	-1,32	1,58	32,19	32,26
cotone	81,23	4,24	26,41	-1,98	4,89	27,79	28,29
yak*	70,62±0,04	7,5±0,2	39,86±0,02	-1,7±0,1	5,8±0,2	33,3±0,3	33,9±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-a (4Br-H) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	76,84	0,88	36,95	-5,58	1,44	38,04	38,47
lana	73,64	5,37	43,57	-2,58	5,80	32,60	33,21
filo lana	72,81	4,83	46,41	-7,06	5,12	39,29	40,25
acetato	80,79	-5,12	43,96	-2,08	-4,97	44,07	44,40
poliammide	78,44	-4,52	55,82	-2,79	-4,03	57,31	57,52
seta	80,96	-6,00	32,49	-2,62	-5,64	33,31	33,89
cotone	79,66	0,51	24,96	-3,66	0,76	26,19	26,46
yak*	68,33±0,07	2,3±0,3	38,25±0,06	-3,8±0,1	2,3±0,3	31,9±0,3	32,2±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-a (4Br-H) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	75,15	9,53	36,25	-7,14	10,43	37,58	39,65
lana	71,45	10,48	38,79	-5,46	8,16	27,75	29,44
filo lana	74,53	5,27	29,19	-5,79	3,87	21,88	22,96
acetato	79,14	6,64	40,54	-3,72	6,88	40,72	41,46
poliammide	69,70	11,90	52,75	-11,37	12,84	54,48	57,12
seta	77,22	3,09	27,28	-6,27	3,73	28,26	29,19
cotone	79,12	5,87	23,30	-4,09	6,52	24,68	25,85
yak*	66,4±0,1	6,2±0,1	28,1±0,1	-5,9±0,1	4,6±0,1	21,6±0,3	22,8±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-a (4Br-H) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	72,64	5,80	33,11	-9,78	6,36	34,20	36,13
lana	68,90	5,01	36,91	-7,32	5,44	25,94	27,50
filo lana	72,86	0,05	28,62	-7,01	0,34	21,50	22,62
acetato	76,92	0,51	39,86	-5,95	0,66	39,97	40,42
poliammide	66,63	5,87	50,87	-14,60	6,36	52,36	54,73
seta	75,93	-3,23	28,09	-7,65	-2,87	28,91	30,04
cotone	77,49	2,47	21,74	-5,83	2,72	22,97	23,85
yak*	64,7±0,1	1,1±0,1	27,5±0,1	-7,41±0,1	1,1±0,1	21,1±0,3	22,4±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-b (4OMe-H) per ogni substrato colorato a pH 6  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	75,28	12,77	49,43	-7,01	13,67	50,76	53,03
lana	74,54	13,44	58,56	-2,37	11,12	47,52	48,86
filo lana	75,03	13,06	62,91	-5,29	11,66	55,6	57,06
acetato	80,4	4,56	66,27	-2,46	4,8	66,45	66,67
poliammide	78,12	6,77	67,69	-2,95	7,71	69,42	69,91
seta	81,02	0,12	42,89	-2,47	0,76	43,87	43,95
cotone	81,69	4,13	30,92	-1,52	4,78	32,3	32,69
yak*	71,46±0,12	8,56±0,54	52,18±0,66	-0,83±0,17	6,89±0,54	45,67±0,72	46,20±0,72

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-b (4OMe-H) per ogni substrato colorato a pH 6  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	71,85	10,19	44,41	-10,57	10,75	45,5	47,93
lana	70,87	9,83	53,94	-5,35	10,26	42,97	44,50
filo lana	71,27	9,7	58,01	-8,6	9,99	50,89	52,57
acetato	77,79	-3,67	67,55	-5,08	-3,52	67,66	67,94
poliammide	75,2	-0,38	67,38	-6,03	0,11	68,87	69,13
seta	79,57	-8,39	44,93	-4,01	-8,03	45,75	46,62
cotone	79,95	0,05	29,48	-3,37	0,3	30,71	30,90
yak*	68,59±0,16	4,02±0,59	49,37±0,78	-3,50±0,19	4,05±0,60	42,99±0,83	43,33±0,83

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-b (4OMe-H) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	77,92	9,31	48,58	-4,37	10,21	49,91	51,13
lana	76,01	11,93	52,59	-0,9	9,61	41,55	42,66
filo lana	75,78	12,44	57,64	-4,54	11,04	50,33	51,73
acetato	81,87	2,71	66,71	-0,99	2,95	66,89	66,96
poliammide	79,84	4,41	70,93	-1,23	5,35	72,66	72,87
seta	81,43	-0,47	43,69	-2,06	0,17	44,67	44,72
cotone	82,61	1,1	38,02	-0,6	1,75	39,4	39,44
yak*	72,81±0,23	7,85±0,02	48,65±0,79	0,52±0,26	6,19±0,06	42,14±0,84	42,60±0,83

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-b (4OMe-H) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	74,91	6,18	44,49	-7,51	6,74	45,58	46,68
lana	72,7	7,82	48,78	-3,52	8,25	37,81	38,86
filo lana	72,22	8,96	53	-7,65	9,25	45,88	47,42
acetato	79,52	-6,67	69,21	-3,35	-6,52	69,32	69,71
poliammide	77,15	-3,71	71,9	-4,08	-3,22	73,39	73,57
seta	80,06	-9,59	46,25	-3,52	-9,23	47,07	48,10
cotone	81,1	-5,64	38,41	-2,22	-5,39	39,64	40,07
yak*	70,10±0,20	3,49±0,05	45,78±0,82	-1,99±0,39	3,51±0,13	39,40±0,97	39,61±0,97

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-b (4OMe-H) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	78,54	8,28	41,85	-3,75	9,18	43,18	44,30
lana	76,51	11,21	47,44	-0,4	8,89	36,4	37,47
filo lana	81,03	3,73	37,75	0,71	2,33	30,44	30,54
acetato	82,57	1,33	63,61	-0,29	1,57	63,79	63,81
poliammide	79,32	5,77	68,81	-1,75	6,71	70,54	70,88
seta	81,78	-1,52	39,75	-1,71	-0,88	40,73	40,78
cotone	84,73	0,05	23,56	1,52	0,7	24,94	25,00
yak*	72,01±0,51	5,81±0,18	45,87±0,71	-0,28±0,53	4,15±0,19	39,36±0,76	39,58±0,76

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-b (4OMe-H) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	75,86	5,32	38,15	-6,56	5,88	39,24	40,22
lana	73,44	6,99	43,98	-2,78	7,42	33,01	33,95
filo lana	79,19	-2,08	37,03	-0,68	-1,79	29,91	29,97
acetato	80,48	-8,69	66,81	-2,39	-8,54	66,92	67,51
poliammide	76,48	-1,63	68,85	-4,75	-1,14	70,34	70,51
seta	80,66	-10,77	42,67	-2,92	-10,41	43,49	44,81
cotone	83,82	-5,04	24,04	0,5	-4,79	25,27	25,72
yak*	69,69±0,51	0,37±0,32	44,40±0,82	-2,39±0,53	0,39±0,32	38,02±0,87	38,10±0,87

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-c (4NO<sub>2</sub>-H) per ogni substrato colorato a pH 6  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	59,06	22,87	18,30	-23,23	23,77	19,63	38,60
lana	48,24	29,42	33,91	-28,67	27,10	22,87	45,60
filo lana	40,26	23,65	32,86	-40,06	22,25	25,55	52,47
acetato	71,62	23,87	73,84	-11,24	24,11	74,02	78,65
poliammide	42,80	28,55	29,07	-38,27	29,49	30,80	57,30
seta	60,78	25,22	53,84	-22,71	25,86	54,82	64,73
cotone	75,72	12,36	26,95	-7,49	13,01	28,33	32,06
yak*	60,50±0,26	20,54±0,21	41,61±1,03	-11,79±0,29	18,88±0,22	35,10±1,07	41,56±0,91

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-c (4NO<sub>2</sub>-H) per ogni substrato colorato a pH 6  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	55,92	19,87	12,90	-26,50	20,43	13,99	36,27
lana	43,78	25,88	26,97	-32,44	26,31	16,00	44,73
filo lana	36,52	19,96	27,40	-43,35	20,25	20,28	51,97
acetato	66,38	21,99	66,71	-16,49	22,14	66,82	72,30
poliammide	38,39	27,50	21,32	-42,84	27,99	22,81	56,03
seta	55,92	23,82	46,40	-27,66	24,18	47,22	59,83
cotone	73,23	9,53	23,29	-10,09	9,78	24,52	28,26
yak*	56,68±0,20	17,34±0,19	36,36±0,99	-15,41±0,23	17,37±0,20	29,98±1,03	37,92±0,82

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-c (4NO<sub>2</sub>-H) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	66,72	19,93	23,85	-15,57	20,83	25,18	36,20
lana	55,11	27,06	40,60	-21,80	24,74	29,56	44,28
filo lana	37,51	19,69	24,08	-42,81	18,29	16,77	49,48
acetato	68,89	28,92	71,88	-13,97	29,16	72,06	78,98
poliammide	46,23	32,35	41,34	-34,84	33,29	43,07	64,63
seta	58,10	29,11	49,02	-25,39	29,75	50,00	63,48
cotone	72,71	14,47	33,81	-10,50	15,12	35,19	39,71
yak*	61,5±0,2	19,09±0,03	41,4±0,3	-10,8±0,2	17,42±0,06	34,9±0,4	40,4±0,4

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-c (4NO<sub>2</sub>-H) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	63,60	17,33	18,67	-18,82	17,89	19,76	32,63
lana	50,64	23,78	33,98	-25,58	24,21	23,01	42,07
filo lana	34,49	16,41	19,58	-45,38	16,70	12,46	49,93
acetato	63,07	28,13	62,99	-19,80	28,28	63,10	71,93
poliammide	40,91	32,07	32,09	-40,32	32,56	33,58	61,75
seta	53,01	27,09	40,94	-30,57	27,45	41,76	58,58
cotone	69,66	12,13	29,11	-13,66	12,38	30,34	35,50
yak*	58,0±0,1	14,86±0,04	37,2±0,3	-14,1±0,2	14,88±0,04	30,9±0,4	37,1±0,4

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-c (4NO<sub>2</sub>-H) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	66,47	19,11	21,31	-15,82	20,01	22,64	34,11
lana	50,65	27,70	41,11	-26,26	25,38	30,07	47,31
filo lana	46,43	24,59	35,00	-33,89	23,19	27,69	49,53
acetato	67,28	25,81	67,75	-15,58	26,05	67,93	74,40
poliammide	43,61	28,43	30,35	-37,46	29,37	32,08	57,40
seta	58,00	24,90	46,73	-25,49	25,54	47,71	59,82
cotone	71,89	10,27	22,97	-11,32	10,92	24,35	28,99
yak*	55,2±0,2	25,2±0,5	42±2	-17,0±0,2	23,6±0,5	35±2	46±1

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-c (4NO<sub>2</sub>-H) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	54,91	16,17	16,65	-27,51	16,73	17,74	36,76
lana	46,03	25,37	33,76	-30,19	25,80	22,79	45,79
filo lana	42,46	21,18	29,13	-37,41	21,47	22,01	48,42
acetato	61,96	24,42	59,94	-20,91	24,57	60,05	68,17
poliammide	39,17	27,33	22,57	-42,06	27,82	24,06	55,87
seta	53,42	23,08	39,56	-30,16	23,44	40,38	55,58
cotone	69,81	7,34	20,03	-13,51	7,59	21,26	26,31
yak*	50,9±0,3	22,9±0,5	35±2	-21,2±0,3	22,9±0,5	28±2	42±1

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-d (4COOH-H) per ogni substrato colorato a pH 3,8  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	81,43	-0,42	1,62	-0,86	0,48	2,95	3,11
lana	64,30	20,48	48,88	-12,61	18,16	37,84	43,83
filo lana	63,86	16,62	35,36	-16,46	15,22	28,05	35,91
acetato	79,98	5,84	48,91	-2,88	6,08	49,09	49,55
poliammide	61,62	25,20	61,55	-19,45	26,14	63,28	71,18
seta	68,84	16,53	39,62	-14,65	17,17	40,60	46,45
cotone	76,85	8,52	21,99	-6,36	9,17	23,37	25,90
yak*	66,9±0,3	13,2±0,1	51,6±0,2	-5,4±0,3	11,5±0,1	45,0±0,3	46,8±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-d (4COOH-H) per ogni substrato colorato a pH 3,8  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	81,40	-0,90	1,84	-1,02	-0,34	2,93	3,12
lana	60,46	14,87	45,28	-15,76	15,30	34,31	40,74
filo lana	60,73	12,45	31,64	-19,14	12,74	24,52	33,61
acetato	77,72	-2,21	49,54	-5,15	-2,06	49,65	49,96
poliammide	56,93	20,31	56,05	-24,30	20,80	57,54	65,83
seta	65,69	10,74	36,60	-17,89	11,10	37,42	42,94
cotone	75,11	4,23	20,37	-8,21	4,48	21,60	23,54
yak*	63,8±0,3	6,8±0,2	49,9±0,2	-8,3±0,3	6,8±0,2	43,5±0,4	44,8±0,4

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-d (4COOH-H) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	81,04	0,14	2,47	-1,25	1,04	3,80	4,13
lana	57,07	24,38	46,86	-19,84	22,06	35,82	46,51
filo lana	52,50	20,74	27,83	-27,82	19,34	20,52	39,61
acetato	78,24	9,91	54,94	-4,62	10,15	55,12	56,24
poliammide	55,65	28,93	52,48	-25,42	29,87	54,21	66,91
seta	68,40	18,87	48,53	-15,09	19,51	49,51	55,31
cotone	74,40	11,85	31,29	-8,81	12,50	32,67	36,07
yak*	60,5±0,5	18,79±0,03	52,30±0,06	-11,8±0,6	17,12±0,06	45,8±0,3	50,3±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-d (4COOH-H) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	80,91	-0,42	2,50	-1,51	0,14	3,59	3,90
lana	52,78	20,31	41,20	-23,44	20,74	30,23	43,51
filo lana	49,23	17,10	22,99	-30,64	17,39	15,87	38,64
acetato	75,37	2,35	54,27	-7,50	2,50	54,38	54,95
poliammide	50,82	23,97	45,97	-30,41	24,46	47,46	61,45
seta	64,77	12,64	45,36	-18,81	13,00	46,18	51,53
cotone	72,05	6,03	29,40	-11,27	6,28	30,63	33,24
yak*	56,8±0,5	13,56±0,04	48,98±0,04	-15,3±0,5	13,58±0,04	42,6±0,3	47,3±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-a (4Br-Ph) per ogni substrato colorato a pH 6  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	59,29	41,90	43,36	-23,00	42,80	44,69	66,02
lana	67,95	31,91	42,97	-8,96	29,59	31,93	44,45
filo lana	74,86	18,54	39,80	-5,46	17,14	32,49	37,14
acetato	77,51	16,93	36,22	-5,35	17,17	36,40	40,60
poliammide	66,71	36,37	57,71	-14,36	37,31	59,44	71,63
seta	73,79	16,33	28,12	-9,70	16,97	29,10	35,06
cotone	79,87	8,63	13,87	-3,34	9,28	15,25	18,16
yak*	69,3±0,6	14,6±0,2	25,1±0,9	-3,0±0,6	13,0±0,2	18,6±0,9	22,9±0,8

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-a (4Br-Ph) per ogni substrato colorato a pH 6  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	52,69	42,61	31,72	-29,73	43,17	32,81	61,84
lana	62,51	31,85	33,54	-13,71	32,28	22,57	41,71
filo lana	66,54	16,55	30,52	-13,33	16,84	23,40	31,76
acetato	74,11	14,67	30,82	-8,76	14,82	30,93	35,40
poliammide	60,22	37,75	45,94	-21,01	38,24	47,43	64,45
seta	70,73	14,94	22,90	-12,85	15,30	23,72	31,01
cotone	78,27	7,64	11,10	-5,05	7,89	12,33	15,48
yak*	66,5±0,6	13,6±0,2	20,5±0,8	-5,6±0,6	13,6±0,1	14,2±0,9	20,4±0,6

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-a (4Br-Ph) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	69,98	28,85	28,67	-12,31	29,75	30,00	44,01
lana	70,19	27,49	39,38	-6,72	25,17	28,34	38,49
filo lana	76,25	14,56	36,64	-4,07	13,16	29,33	32,40
acetato	78,79	13,99	25,97	-4,07	14,23	26,15	30,05
poliammide	72,94	25,18	44,95	-8,13	26,12	46,68	54,11
seta	79,45	9,64	20,80	-4,04	10,28	21,78	24,42
cotone	81,39	6,56	14,17	-1,82	7,21	15,55	17,24
yak*	69,6±0,1	17,1±0,2	28,9±0,3	-2,7±0,1	15,4±0,2	22,4±0,4	27,3±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-a (4Br-Ph) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	65,43	28,90	20,49	-16,99	29,46	21,58	40,28
lana	65,44	26,58	31,35	-10,78	27,01	20,38	35,51
filo lana	72,98	13,21	31,20	-6,89	13,50	24,08	28,45
acetato	76,10	12,10	21,58	-6,77	12,25	21,69	25,81
poliammide	68,09	25,73	35,84	-13,14	26,22	37,33	47,47
seta	77,43	8,17	17,39	-6,15	8,53	18,21	21,03
cotone	80,00	5,39	11,81	-3,32	5,64	13,04	14,59
yak*	66,36±0,04	16,2±0,2	23,6±0,2	-5,7±0,1	16,2±0,2	17,2±0,4	24,3±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze



Dati colorimetrici di 3 B-a (4Br-Ph) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	71,82	25,74	27,35	-10,47	26,64	28,68	40,52
lana	71,22	21,78	33,27	-5,69	19,46	22,23	30,09
filo lana	79,13	9,50	31,96	-1,19	8,10	24,65	25,97
acetato	79,40	10,99	29,20	-3,46	11,23	29,38	31,64
poliammide	70,69	28,75	44,65	-10,38	29,69	46,38	56,04
seta	78,84	9,01	23,06	-4,65	9,65	24,04	26,32
cotone	81,62	6,17	11,38	-1,59	6,82	12,76	14,56
yak*	67,6±0,1	15,2±0,1	26,0±0,1	-4,6±0,2	13,5±0,1	19,5±0,3	24,2±0,2

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-a (4Br-Ph) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	67,64	25,98	19,75	-14,78	26,54	20,84	36,84
lana	67,40	20,03	26,95	-8,82	20,46	15,98	27,42
filo lana	76,64	7,39	28,05	-3,23	7,68	20,93	22,53
acetato	76,91	8,67	25,33	-5,96	8,82	25,44	27,58
poliammide	65,49	29,26	35,00	-15,74	29,75	36,49	49,64
seta	76,79	7,34	19,63	-6,79	7,70	20,45	22,88
cotone	80,40	5,26	9,25	-2,92	5,51	10,48	12,19
yak*	64,8±0,1	13,9±0,1	21,5±0,1	-7,3±0,2	13,9±0,1	15,1±0,3	21,8±0,2

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-b (4OMe-Ph) per ogni substrato colorato a pH 6  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	74,3	22,38	41,03	-7,99	23,28	42,36	48,99
lana	73,01	24,62	56,05	-3,9	22,3	45,01	50,38
filo lana	74,62	13,47	48,54	-5,7	12,07	41,23	43,34
acetato	78,04	19,36	74,49	-4,82	19,6	74,67	77,35
poliammide	70,52	31,99	77,59	-10,55	32,93	79,32	86,53
seta	75,98	17,38	62,89	-7,51	18,02	63,87	66,79
cotone	80,96	7,95	24,14	-2,25	8,6	25,52	27,02
yak*	71,35±0,13	11,72±0,20	39,90±0,12	-0,94±0,18	10,05±0,21	33,39±0,30	34,88±0,30

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-b (4OMe-Ph) per ogni substrato colorato a pH 6  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	69,8	23,26	33,11	-12,62	23,82	34,2	43,55
lana	67,87	24,73	47,47	-8,35	25,16	36,5	45,11
filo lana	71,07	11,71	43,03	-8,8	12	35,91	38,87
acetato	73,12	17,91	67,27	-9,75	18,06	67,38	70,44
poliammide	63,92	34,23	66,14	-17,31	34,72	67,63	77,97
seta	71,57	15,89	56,09	-12,01	16,25	56,91	60,39
cotone	78,89	6,88	20,61	-4,43	7,13	21,84	23,40
yak*	68,33±0,18	9,94±0,26	34,96±0,25	-3,76±0,21	9,97±0,26	28,58±0,36	30,51±0,35

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-b (4OMe-Ph) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	75,99	18,67	36,94	-6,3	19,57	38,27	43,44
lana	74,49	22,44	59,23	-2,42	20,12	48,19	52,28
filo lana	75,57	14,66	55,93	-4,75	13,26	48,62	50,62
acetato	78,37	17,94	74,85	-4,49	18,18	75,03	77,33
poliammide	70,58	31,36	74,28	-10,49	32,3	76,01	83,25
seta	77,2	15,33	64,76	-6,29	15,97	65,74	67,94
cotone	81,95	8,57	33,93	-1,26	9,22	35,31	36,52
yak*	70,66±0,48	14,04±0,29	46,03±0,23	-1,63±0,49	12,37±0,29	39,52±0,36	41,44±0,36

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-b (4OMe-Ph) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	72,1	19,01	30,1	-10,32	19,57	31,19	38,24
lana	69,56	21,86	51,22	-6,66	22,29	40,25	46,49
filo lana	71,68	12,8	50,02	-8,19	13,09	42,9	45,59
acetato	73,64	16,02	68,17	-9,23	16,17	68,28	70,77
poliammide	64,13	33,45	63,17	-17,1	33,94	64,66	75,00
seta	72,99	13,34	58,53	-10,59	13,7	59,35	61,82
cotone	79,44	6,72	29,87	-3,88	6,97	31,1	32,11
yak*	67,16±0,52	12,34±0,36	40,56±0,14	-4,93±0,53	12,36±0,36	34,19±0,30	36,68±0,31

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-b (4OMe-Ph) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	75,44	20,4	39,01	-6,85	21,3	40,34	46,13
lana	73,64	20,77	56,26	-3,27	18,45	45,22	48,95
filo lana	76,61	12,2	52,46	-3,71	10,8	45,15	46,57
acetato	77,62	17,59	78,52	-5,24	17,83	78,7	80,86
poliammide	71,38	29,56	75,89	-9,69	30,5	77,62	83,96
seta	78,91	11,71	51,21	-4,58	12,35	52,19	53,83
cotone	82,33	5,58	22,55	-0,88	6,23	23,93	24,74
yak*	72,49±0,20	9,52±0,05	36,54±0,05	0,20±0,23	7,85±0,07	30,03±0,28	31,04±0,29

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-b (4OMe-Ph) per ogni substrato a pH 8,4  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	71,25	21,09	31,63	-11,17	21,65	32,72	40,79
lana	69,02	19,76	48,82	-7,2	20,19	37,85	43,50
filo lana	73,12	9,78	47,3	-6,75	10,07	40,18	41,97
acetato	72,87	15,64	72,01	-10	15,79	72,12	74,50
poliammide	65,1	31,49	64,89	-16,13	31,98	66,38	75,43
seta	75,48	9,39	45,97	-8,1	9,75	46,79	48,48
cotone	80,62	4,21	19,66	-2,7	4,46	20,89	21,53
yak*	69,87±0,19	6,98±0,07	32,69±0,07	-2,21±0,22	7,01±0,07	26,31±0,28	27,32±0,27

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-c (4NO<sub>2</sub>-Ph) per ogni substrato colorato a pH 6  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	32,01	13,04	-0,22	-50,28	13,94	1,11	52,19
lana	35,53	15,63	2,84	-41,38	13,31	-8,20	44,23
filo lana	39,17	20,10	2,27	-41,15	18,70	-5,04	45,48
acetato	65,02	15,75	7,34	-17,84	15,99	7,52	25,11
poliammide	41,75	19,80	-1,75	-39,32	20,74	-0,02	44,45
seta	65,24	17,90	2,96	-18,25	18,54	3,94	26,31
cotone	74,61	4,88	-1,28	-8,60	5,53	0,10	10,23
yak*	53,5±0,9	14,52±0,06	-2,7±0,2	-18,8±0,9	12,9±0,1	-9,2±0,3	24,5±0,7

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-c (4NO<sub>2</sub>-Ph) per ogni substrato colorato a pH 6  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	30,79	9,79	-2,80	-51,63	10,35	-1,71	52,68
lana	33,91	11,62	-0,30	-42,31	12,05	-11,27	45,41
filo lana	37,04	17,00	-2,22	-42,83	17,29	-9,34	47,12
acetato	62,93	15,67	2,66	-19,94	15,82	2,77	25,60
poliammide	39,78	18,68	-6,45	-41,45	19,17	-4,96	45,94
seta	63,11	18,91	-2,11	-20,47	19,27	-1,29	28,14
cotone	74,17	4,94	-2,48	-9,15	5,19	-1,25	10,59
yak*	52,2±0,9	13,62±0,04	-5,8±0,2	-19,9±0,9	13,64±0,05	-12,2±0,3	27,0±0,7

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-c (4NO<sub>2</sub>-Ph) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	45,88	15,94	-2,54	-36,41	16,84	-1,21	40,13
lana	40,79	15,86	1,91	-36,12	13,54	-9,13	39,64
filo lana	43,55	19,97	1,38	-36,77	18,57	-5,93	41,62
acetato	63,46	14,42	6,57	-19,40	14,66	6,75	25,24
poliammide	46,22	25,03	-1,82	-34,85	25,97	-0,09	43,46
seta	69,31	12,26	0,97	-14,18	12,90	1,95	19,27
cotone	79,47	3,91	-0,37	-3,74	4,56	1,01	5,98
yak*	61,7±0,7	11,5±0,1	0,4±0,1	-10,6±0,8	9,8±0,1	-6,2±0,3	15,7±0,5

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-c (4NO<sub>2</sub>-Ph) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	44,46	14,05	-5,98	-37,96	14,61	-4,89	40,97
lana	39,18	12,49	-1,38	-37,04	12,92	-12,35	41,13
filo lana	41,48	17,56	-3,13	-38,39	17,85	-10,25	43,56
acetato	61,57	14,23	2,32	-21,30	14,38	2,43	25,81
poliammide	43,62	25,06	-8,15	-37,61	25,55	-6,66	45,95
seta	67,93	12,86	-2,39	-15,65	13,22	-1,57	20,55
cotone	79,05	4,38	-1,49	-4,27	4,63	-0,26	6,30
yak*	60,5±0,8	10,78±0,04	-2,2±0,1	-11,6±0,8	10,81±0,05	-8,5±0,3	18,0±0,5

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-c (4NO<sub>2</sub>-Ph) per ogni substrato a colorato pH 8,4  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	43,19	17,57	-2,45	-39,10	18,47	-1,12	43,26
lana	54,71	14,15	2,85	-22,20	11,83	-8,19	26,45
filo lana	66,47	12,50	4,12	-13,85	11,10	-3,19	18,03
acetato	69,99	12,05	6,61	-12,87	12,29	6,79	19,05
poliammide	47,37	24,01	-2,80	-33,70	24,95	-1,07	41,94
seta	67,70	20,07	4,17	-15,79	20,71	5,15	26,55
cotone	71,85	5,59	-0,55	-11,36	6,24	0,83	12,99
yak*	56,3±0,7	12,5±0,2	-0,55±0,08	-16,0±0,7	10,8±0,2	-7,1±0,3	20,5±0,5

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-c (4NO<sub>2</sub>-Ph) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	41,60	15,43	-6,27	-40,82	15,99	-5,18	44,15
lana	53,20	11,92	-0,15	-23,02	12,35	-11,12	28,39
filo lana	65,00	11,34	1,22	-14,87	11,63	-5,90	19,78
acetato	68,34	12,08	2,94	-14,53	12,23	3,05	19,24
poliammide	44,92	24,55	-8,89	-36,31	25,04	-7,40	44,72
seta	65,24	21,56	-1,64	-18,34	21,92	-0,82	28,59
cotone	71,30	5,47	-1,93	-12,02	5,72	-0,70	13,33
yak*	55,2±0,7	10,9±0,2	-3,08±0,02	-16,9±0,7	10,9±0,2	-9,4±0,3	22,2±0,6

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-d (4COOH-Ph) per ogni substrato a pH 3,8  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	77,98	7,82	22,03	-4,31	8,72	23,36	25,30
lana	71,96	19,12	45,52	-4,95	16,80	34,48	38,67
filo lana	67,49	20,83	38,23	-12,83	19,43	30,92	38,71
acetato	80,24	10,13	24,81	-2,62	10,37	24,99	27,18
poliammide	67,26	31,66	51,78	-13,81	32,60	53,51	64,16
seta	76,65	14,05	32,34	-6,84	14,69	33,32	37,05
cotone	80,61	9,54	18,18	-2,60	10,19	19,56	22,21
yak*	69,87±0,04	13,7±0,2	36,2±0,1	-2,4±0,1	12,1±0,2	29,7±0,3	32,1±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-d (4COOH-Ph) per ogni substrato colorato a pH 3,8  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	76,07	6,18	19,23	-6,35	6,74	20,32	22,33
lana	67,94	17,26	39,51	-8,28	17,69	28,54	34,58
filo lana	63,45	20,25	31,63	-16,42	20,54	24,51	35,95
acetato	77,94	8,66	21,15	-4,93	8,81	21,26	23,54
poliammide	61,47	32,80	41,05	-19,76	33,29	42,54	57,52
seta	73,57	13,15	26,97	-10,01	13,51	27,79	32,48
cotone	78,67	8,53	14,99	-4,65	8,78	16,22	19,02
yak*	66,79±0,01	11,6±0,2	31,73±0,01	-5,3±0,1	11,7±0,2	25,4±0,3	28,4±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-d (4COOH-Ph) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	75,65	13,81	30,83	-6,64	14,71	32,16	35,98
lana	72,41	12,50	33,71	-4,50	10,18	22,67	25,25
filo lana	69,29	20,32	39,81	-11,03	18,92	32,50	39,19
acetato	79,46	13,40	36,41	-3,40	13,64	36,59	39,20
poliammide	62,94	39,70	59,68	-18,13	40,64	61,41	75,84
seta	76,01	18,65	42,10	-7,48	19,29	43,08	47,79
cotone	74,74	22,52	49,57	-8,47	23,17	50,95	56,61
yak*	65,6±0,1	14,88±0,05	38,5±0,2	-2,7±0,1	13,2±0,1	32,0±0,4	34,8±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-d (4COOH-Ph) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	72,72	12,22	26,34	-9,70	12,78	27,43	31,78
lana	69,57	10,13	29,66	-6,65	10,56	18,69	22,47
filo lana	65,25	19,70	33,28	-14,62	19,99	26,16	36,02
acetato	76,35	11,63	31,50	-6,52	11,78	31,61	34,36
poliammide	56,04	41,25	47,13	-25,19	41,74	48,62	68,85
seta	72,06	17,82	35,28	-11,52	18,18	36,10	42,03
cotone	70,10	21,95	41,81	-13,22	22,20	43,04	50,20
yak*	66,3±0,1	12,77±0,06	33,8±0,3	-5,8±0,1	12,8±0,1	27,4±0,4	30,8±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-a (4Br-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 6  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	78,73	4,43	39,93	-3,56	5,33	41,26	41,75
lana	73,47	12,34	66,15	-3,44	10,02	55,11	56,12
filo lana	76,64	10,82	70,28	-3,68	9,42	62,97	63,78
acetato	81,09	6,16	79,52	-1,77	6,4	79,7	79,98
poliammide	74,73	16,8	80,96	-6,34	17,74	82,69	84,81
seta	78,8	7,15	74,99	-4,69	7,79	75,97	76,51
cotone	80,93	4,34	46,76	-2,28	4,99	48,14	48,45
yak*	71,49±0,03	6,97±0,05	58,25±0,74	-0,80±0,12	5,31±0,07	51,74±0,79	52,01±0,78

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-a (4Br-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 6  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	76,73	-1	38,68	-5,69	-0,44	39,77	40,18
lana	69,93	6,82	63,34	-6,29	7,25	52,37	53,24
filo lana	73,12	5,34	67,68	-6,75	5,63	60,56	61,19
acetato	77,96	-1,22	79,74	-4,91	-1,07	79,85	80,01
poliammide	70,12	14,36	75,12	-11,11	14,85	76,61	78,82
seta	75,63	0,58	74,04	-7,95	0,94	74,86	75,29
cotone	78,78	-2,22	45,88	-4,54	-1,97	47,11	47,37
yak*	68,78±0,03	0,80±0,11	56,99±0,81	-3,32±0,11	0,82±0,11	50,61±0,85	50,72±0,85

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-a (4Br-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	79,93	2,11	37,46	-2,36	3,01	38,79	38,98
lana	74,82	12,47	70,09	-2,09	10,15	59,05	59,95
filo lana	76,4	10,8	72,71	-3,92	9,4	65,4	66,19
acetato	79,64	8,42	80,34	-3,22	8,66	80,52	81,05
poliammide	75,12	15,39	79,89	-5,95	16,33	81,62	83,45
seta	78,59	6,85	76,76	-4,9	7,49	77,74	78,25
cotone	79,92	5,38	55,79	-3,29	6,03	57,17	57,58
yak*	70,46±0,17	9,50±0,17	61,88±0,75	-1,83±0,21	7,84±0,17	55,37±0,80	55,96±0,79

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-a (4Br-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	78,32	-4,13	37,27	-4,1	-3,57	38,36	38,74
lana	71,15	7,03	67,27	-5,07	7,46	56,3	57,02
filo lana	72,83	5,33	70,27	-7,04	5,62	63,15	63,79
acetato	76,18	2,23	79,09	-6,69	2,38	79,2	79,52
poliammide	70,73	12,39	74,67	-10,5	12,88	76,16	77,95
seta	75,41	0,34	75,84	-8,17	0,7	76,66	77,10
cotone	77,43	-1,69	55,01	-5,89	-1,44	56,24	56,57
yak*	67,36±0,21	3,85±0,17	59,94±0,76	-4,72±0,23	3,88±0,17	53,56±0,81	53,91±0,80

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-a (4Br-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	80,65	1,33	32,39	-1,64	2,23	33,72	33,83
lana	76,35	11,53	70,82	-0,56	9,21	59,78	60,49
filo lana	78,42	7,31	70,91	-1,9	5,91	63,6	63,90
acetato	81,75	6,72	80,01	-1,11	6,96	80,19	80,50
poliammide	76,85	13,52	83,27	-4,22	14,46	85	86,32
seta	80,02	4,19	65,72	-3,47	4,83	66,7	66,96
cotone	82,53	2,4	48,45	-0,68	3,05	49,83	49,93
yak*	72,14±0,09	7,23±0,18	62,80±0,38	-0,15±0,15	5,56±0,19	56,29±0,47	56,57±0,47

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-a (4Br-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	79,29	-4,49	32,32	-3,13	-3,93	33,41	33,79
lana	72,77	5,82	68,27	-3,45	6,25	57,3	57,74
filo lana	75,3	0,96	69,58	-4,57	1,25	62,46	62,64
acetato	78,51	-0,32	79,47	-4,36	-0,17	79,58	79,70
poliammide	72,62	9,94	78,77	-8,61	10,43	80,26	81,39
seta	77,43	-3,42	65,89	-6,15	-3,06	66,71	67,06
cotone	80,57	-4,81	48,27	-2,75	-4,56	49,5	49,79
yak*	69,29±0,07	0,99±0,20	61,57±0,33	-2,80±0,13	1,01±0,20	55,19±0,43	55,27±0,43

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze



Dati colorimetrici di 3 C-b (4OMe-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 6  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere*	80,15±0,29	1,57±0,20	37,21±0,64	-2,14±0,41	2,47±0,28	38,54±0,90	38,68±0,90
lana*	75,88±0,13	9,24±0,15	71,16±1,1	-1,03±0,19	6,92±0,21	60,12±1,52	60,53±1,51
filo lana*	76,11±0,17	4,75±0,10	70,63±1,04	-4,21±0,25	3,35±0,14	63,32±1,46	63,54±1,46
acetato*	81,65±0,34	4,49±0,37	83,99±1,39	-1,21±0,47	4,73±0,53	84,17±1,97	84,31±1,97
poliammide*	76,96±0,32	10,42±0,16	83,79±0,39	-4,11±0,46	11,36±0,22	85,52±0,56	86,37±0,55
seta*	78,94±0,29	5,00±0,03	76,58±0,82	-4,55±0,41	5,64±0,05	77,56±1,16	77,89±1,16
cotone*	80,73±0,57	3,35±0,20	51,71±1,11	-2,48±0,81	4,00±0,81	53,09±1,57	53,30±1,56
yak*	68,75±0,15	4,48±0,11	58,26±0,48	-3,54±0,19	2,81±0,12	51,75±0,56	51,95±0,55

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-b (4OMe-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 6  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere*	78,62±0,30	-4,98±0,21	37,49±0,58	-3,80±0,42	-4,42±0,29	38,58±0,81	39,01±0,81
lana*	72,64±0,17	2,37±0,19	70,31±1,17	-3,58±0,24	2,80±0,27	59,34±1,65	59,52±1,65
filo lana*	73,41±0,15	-2,89±0,11	71,21±1,11	-6,46±0,22	-2,60±0,16	64,09±1,56	64,46±1,55
acetato*	78,68±0,38	-3,66±0,74	85,37±1,89	-4,19±0,54	-3,51±1,04	85,48±2,67	85,65±2,66
Poliammide*	73,16±0,34	5,60±0,25	81,04±0,44	-8,07±0,49	6,09±0,35	82,53±0,62	83,15±0,61
seta*	76,03±0,27	-2,48±0,04	76,91±0,95	-7,55±0,39	-2,12±0,06	77,73±1,34	78,13±1,33
cotone*	78,59±0,52	-4,14±0,14	51,58±1,08	-4,73±0,74	-3,89±0,20	52,81±1,52	53,17±1,52
yak*	66,44±0,13	-3,01±0,07	58,75±0,52	-5,66±0,17	-2,98±0,07	52,37±0,59	52,76±0,58

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-b (4OMe-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	79,98	0,92	30,95	-2,31	1,82	32,28	32,41
lana	78,59	7,85	52,45	1,68	5,53	41,41	41,81
filo lana	79,14	3,31	45	-1,18	1,91	37,69	37,76
acetato	78,62	12,58	72,81	-4,24	12,82	72,99	74,23
poliammide	76,32	12,98	80,27	-4,75	13,92	82	83,31
seta	79,38	7,28	78,52	-4,11	7,92	79,5	80,00
cotone	79,99	4,51	55,72	-3,22	5,16	57,1	57,42
yak*	70,37±0,09	9,06±0,10	65,09±0,87	-1,92±0,15	7,40±0,12	58,58±0,92	59,07±0,91

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-b (4OMe-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	78,74	-5,24	31,39	-3,68	-4,68	32,48	33,02
lana	75,83	2,23	50,11	-0,39	2,66	39,14	39,23
filo lana	77,1	-2,44	43,76	-2,77	-2,15	36,64	36,81
acetato	74,71	8,46	68,33	-8,16	8,61	68,44	69,46
poliammide	72,26	8,92	76,1	-8,97	9,41	77,59	78,67
seta	76,17	0,09	78,23	-7,41	0,45	79,05	79,40
cotone	77,62	-2,99	55,35	-5,7	-2,74	56,58	56,93
yak*	67,29±0,09	3,04±0,15	63,36±0,97	-4,80±0,14	3,07±0,15	56,98±1,01	57,27±1,00

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-b (4OMe-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	79,58	1,61	37,13	-2,71	2,51	38,46	38,64
lana	77,24	8,97	73,16	0,33	6,65	62,12	62,48
filo lana	75,47	6,26	69,6	-4,85	4,86	62,29	62,67
acetato	79,99	6,01	82,26	-2,87	6,25	82,44	82,73
poliammide	76,73	10,39	80,2	-4,34	11,33	81,93	82,82
seta	79,57	4,27	73,36	-3,92	4,91	74,34	74,61
cotone	81,16	1,94	52,04	-2,05	2,59	53,42	53,52
yak*	69,34±0,20	6,67±0,07	57,27±0,49	-2,95±0,24	5,01±0,09	50,76±0,56	51,09±0,56

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-b (4OMe-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	78,08	-5,17	37,49	-4,34	-4,61	38,58	39,10
lana	73,95	2,3	71,96	-2,27	2,73	60,99	61,09
filo lana	72,56	-0,52	68,94	-7,31	-0,23	61,82	62,25
acetato	76,81	-0,86	81,64	-6,06	-0,71	81,75	81,98
poliammide	72,97	5,88	76,82	-8,26	6,37	78,31	79,00
seta	76,82	-3,46	73,78	-6,76	-3,1	74,6	74,97
cotone	79,16	-5,65	52,11	-4,16	-5,4	53,34	53,77
yak*	66,74±0,20	0,20±0,10	56,30±0,53	-5,35±0,23	0,23±0,10	49,92±0,60	50,21±0,59

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-c (4NO<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 6  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	54,68	34,37	25,40	-27,61	35,27	26,73	52,16
lana	50,21	39,80	39,92	-26,70	37,48	28,88	54,33
filo lana	51,93	35,86	29,75	-28,39	34,46	22,44	49,97
acetato	65,53	39,33	75,66	-17,33	39,57	75,84	87,28
poliammide	43,37	43,01	37,79	-37,70	43,95	39,52	70,11
seta	56,02	41,61	54,23	-27,47	42,25	55,21	74,75
cotone	70,76	22,34	31,21	-12,45	22,99	32,59	41,78
yak*	50,0±0,2	37,2±0,1	41,50±0,06	-22,2±0,2	35,5±0,1	35,0±0,3	54,6±0,2

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-c (4NO<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 6  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	49,85	32,44	16,62	-32,57	33,00	17,71	49,63
lana	44,15	38,47	29,36	-32,07	38,90	18,39	53,66
filo lana	46,77	33,58	20,75	-33,10	33,87	13,63	49,28
acetato	58,30	40,97	63,38	-24,57	41,12	63,49	79,53
poliammide	36,92	42,42	26,25	-44,31	42,91	27,74	67,63
seta	49,18	42,16	42,21	-34,40	42,52	43,03	69,59
cotone	66,91	21,14	24,48	-16,41	21,39	25,71	37,25
yak*	44,2±0,2	36,48±0,03	31,30±0,01	-27,9±0,2	36,50±0,03	24,9±0,3	52,3±0,2

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-c (4NO<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	53,74	19,3	14,16	-28,55	20,2	15,49	38,25
lana	45,52	32,94	34,51	-31,39	30,62	23,47	49,74
filo lana	43,45	32,75	33,97	-36,87	31,35	26,66	55,25
acetato	58,94	38,2	58,82	-23,92	38,44	59	74,37
poliammide	46,12	40,23	34,5	-34,95	41,17	36,23	65,03
seta	56,6	40,67	50,98	-26,89	41,31	51,96	71,62
cotone	64,96	29,17	40,9	-18,25	29,82	42,28	54,86
yak*	47,64±0,01	28,13±0,24	29,91±0,62	-24,64±0,12	26,47±0,24	23,40±0,68	43,08±0,40

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-c (4NO<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	51,07	17,14	9,27	-31,35	17,7	10,36	37,46
lana	40,44	31,18	25,84	-35,78	31,61	14,87	50,01
filo lana	38,4	31,11	25,3	-41,47	31,4	18,18	55,10
acetato	52,32	38,7	47,52	-30,55	38,85	47,63	68,64
poliammide	40,16	38,97	24,01	-41,07	39,46	25,5	62,40
seta	49,99	40,59	39,64	-33,59	40,95	40,46	66,65
cotone	60,03	27,76	32,73	-23,29	28,01	33,96	49,80
yak*	43,30±0,1	26,04±0,25	22,46±0,55	-28,79±0,12	26,07±0,25	16,09±0,61	42,03±0,29

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-c (4NO<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	63,13	21	23,07	-19,16	21,9	24,4	37,97
lana	50,11	35,25	41,6	-26,8	32,93	30,56	52,31
filo lana	48,94	34,89	37,37	-31,38	33,49	30,06	54,86
acetato	60,1	34,96	61,84	-22,76	35,2	62,02	74,86
poliammide	40,72	35,49	29,35	-40,35	36,43	31,08	62,62
seta	53,91	40,23	47,54	-29,58	40,87	48,52	70,00
cotone	67,31	21,73	29,39	-15,9	22,38	30,77	41,24
yak*	47,44±0,05	30,18±0,25	35,34±0,55	-24,84±0,56	28,52±0,35	28,83±0,38	47,56±0,43

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-c (4NO<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	59,85	18,89	17,48	-22,57	19,45	18,57	35,11
lana	44,48	34,14	31,88	-31,74	34,57	20,91	51,38
filo lana	43,53	33,26	28,11	-36,34	33,55	20,99	53,73
acetato	53,78	35,54	51,1	-29,09	35,69	51,21	68,87
poliammide	35,5	34,29	20,08	-45,73	34,78	21,57	61,37
seta	47,44	40,34	36,28	-36,14	40,7	37,1	65,87
cotone	63,59	20,56	22,79	-19,73	20,81	24,02	37,41
yak*	42,63±0,55	28,89±0,35	26,94±0,25	-29,46±0,60	28,92±0,35	20,56±0,32	46,12±0,46

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-d (4COOH-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 6  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	79,81	3,08	14,41	-2,48	3,98	15,74	16,42
lana	63,76	27,23	58,32	-13,15	24,91	47,28	55,03
filo lana	55,68	34,38	48,06	-24,64	32,98	40,75	57,93
acetato	76,35	17,65	64,71	-6,51	17,89	64,89	67,63
poliammide	49,51	38,74	42,56	-31,56	39,68	44,29	67,32
seta	66,21	25,92	41,21	-17,28	26,56	42,19	52,76
cotone	69,89	19,89	26,08	-13,32	20,54	27,46	36,79
yak*	63,86±0,37	18,52±1,22	56,22±0,06	-8,42±0,38	16,85±1,22	49,72±0,29	53,17±0,47

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-d (4COOH-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 6  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	78,88	0,25	13,75	-3,54	0,81	14,84	15,28
lana	58,76	23,75	51,43	-17,46	24,18	40,46	50,26
filo lana	50,16	31,35	39,41	-29,71	31,64	32,29	54,10
acetato	72,21	12,59	60,52	-10,66	12,74	60,63	62,86
poliammide	43,61	35,91	32,67	-37,62	36,4	34,16	62,51
seta	61,9	21,72	35,02	-21,68	22,08	35,84	47,35
cotone	66,79	15,91	21,43	-16,53	16,16	22,66	32,37
yak*	59,91±0,32	14,49±1,12	51,44±0,10	-12,18±0,34	14,51±1,39	45,06±0,41	48,89±0,58

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-d (4COOH-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	82,96	0,28	3,13	0,67	1,18	4,46	4,66
lana	67,33	20,52	46,02	-9,58	18,2	34,98	40,58
filo lana	65,01	25,56	46,56	-15,31	24,16	39,25	48,57
acetato	76,23	14,95	63,44	-6,63	15,19	63,62	65,74
poliammide	68,27	23,08	62,74	-12,8	24,02	64,47	69,98
seta	72,48	13,53	53,29	-11,01	14,17	54,27	57,16
cotone	74,46	13,3	31,9	-8,75	13,95	33,28	37,13
yak*	61,07±0,27	19,16±0,34	44,52±0,12	-11,21±0,26	17,50±0,32	38,01±0,21	43,33±0,30

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-d (4COOH-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 2,7  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	82,79	-0,41	3,1	0,37	0,15	4,19	4,21
lana	63,39	16,66	40,71	-12,83	17,09	29,74	36,62
filo lana	60,5	22,06	40,05	-19,37	22,35	32,93	44,26
acetato	72,43	9,66	59,93	-10,44	9,81	60,04	61,73
poliammide	63,44	20,79	55,54	-17,79	21,28	57,03	63,42
seta	69,07	8,99	49,4	-14,51	9,35	50,22	53,10
cotone	71,78	9,34	28,22	-11,54	9,59	29,45	33,05
yak*	57,38±0,26	15,21±0,32	39,77±0,13	-14,71±0,27	15,24±0,29	33,39±0,15	39,54±0,29

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-d (4COOH-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	82,67	-0,4	1,63	0,38	0,5	2,96	3,03
lana	49,05	36,23	42,24	-27,86	33,91	31,2	53,85
filo lana	56,57	33,65	47	-23,75	32,25	39,69	56,39
acetato	78,48	11,88	71,87	-4,38	12,12	72,05	73,19
poliammide	47,9	35,45	41,1	-33,17	36,39	42,83	65,26
seta	73,98	12,34	38,34	-9,51	12,98	39,32	42,49
cotone	60,92	25,32	25,4	-22,29	25,97	26,78	43,46
yak*	64,52±0,27	20,83±0,34	62,59±0,12	-7,76±0,24	19,17±0,35	56,08±0,17	59,78±0,31

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-d (4COOH-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 8,4  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	82,63	-0,73	1,73	0,21	-0,17	2,82	2,83
lana	43,51	32,91	33,25	-32,71	33,34	22,28	51,75
filo lana	51,21	30,18	38,89	-28,66	30,47	31,77	52,53
acetato	74,76	6,6	69,27	-8,11	6,75	69,38	70,18
poliammide	42,48	32,13	32,16	-38,75	32,62	33,65	60,81
seta	71,27	6,89	35,71	-12,31	7,25	36,53	39,22
cotone	57,26	21,36	19,43	-26,06	21,61	20,66	39,66
yak*	60,20±0,26	17,71±0,31	56,72±0,09	-11,88±0,25	17,73±0,21	50,34±0,18	54,68±0,25

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-b (4Br-H) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	73,09	13,46	30,27	-9,93	14,28	32,1	36,51
lana	69,69	16,71	43,05	-9,99	14,36	31,93	36,41
filo lana	70,05	17,15	51,53	-12,52	15,68	44,18	48,52
acetato	75,53	14,26	43,14	-9,18	14,61	44,4	47,63
poliammide	70,24	16,79	52,41	-13,08	17,6	54,53	58,77
seta	76,19	11,07	36,84	-7,55	11,69	38,6	41,03
cotone	76,04	13,2	30,16	-8,54	13,81	32,09	35,96
yak*	73,69±0,54	3,27±0,05	23,09±0,43	0,69±0,52	1,73±0,07	16,34±0,50	16,45±0,51

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-b (4Br-H) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene  
 Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	70,29	11,32	25,76	-12,13	11,88	26,85	32,45
lana	66,2	13,07	38,31	-10,02	13,5	27,34	33,05
filo lana	66,23	13,76	46,29	-13,64	14,05	39,17	43,48
acetato	72,3	10,02	39,5	-10,57	10,17	39,61	43,76
poliammide	66,51	12,48	48,09	-14,72	12,97	49,58	54,38
seta	73,51	7,12	33,78	-10,07	7,48	34,6	37,64
cotone	73,26	11,00	25,82	-10,06	11,25	27,05	31,91
yak*	72,46 ±0,51	-1,41±0,06	22,83±0,42	-0,08±0,50	-1,36±0,09	16,21±0,55	16,27±0,53

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-c (4NO<sub>2</sub>-H) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene  
 Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	62,32	12,06	21,25	-20,7	12,88	23,08	33,57
lana	44,45	20,95	32,34	-35,23	18,6	21,22	45,14
filo lana	37,22	16,25	21,68	-45,35	14,78	14,33	49,80
acetato	54,2	25,62	52,29	-30,51	25,97	53,55	66,88
poliammide	37	19,37	19,91	-46,32	20,18	22,03	55,12
seta	54,84	22,92	43,37	-28,9	23,54	45,13	58,53
cotone	69,04	9,07	20,78	-15,54	9,68	22,71	29,17
yak*	53,84±0,23	20,63±0,21	41,83±0,39	-19,16±0,23	19,09±0,21	35,08±0,40	44,30±0,37

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-c (4NO<sub>2</sub>-H) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	60,12	9,7	17,8	-23,04	9,91	19,51	31,78
lana	40,88	18,71	26,76	-38,11	19,03	15,82	45,44
filo lana	34,62	13,54	17,72	-43,93	13,67	10,75	47,25
acetato	49,38	24,33	44,51	-35,4	24,18	45,78	62,72
poliammide	33,99	18,11	14,64	-49,48	18,2	16,66	55,29
seta	50,62	20,8	36,73	-33,23	20,8	38,43	54,90
cotone	67,18	6,32	18,13	-17,52	6,23	20,03	27,33
yak*	50,01±0,24	17,73±0,19	36,49±0,34	-22,53±0,23	17,75±0,16	30,11±0,36	41,43±0,30

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-a (4Br-Ph) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	64,86	31,80	26,83	-18,16	32,62	28,66	47,07
lana	64,91	30,91	40,59	-14,77	28,56	29,47	43,62
filo lana	67,28	28,43	42,49	-15,29	26,96	35,14	46,86
acetato	69,66	28,00	42,18	-15,05	28,35	43,44	54,01
poliammide	66,54	32,57	45,60	-16,78	33,38	47,72	60,61
seta	72,56	17,71	37,39	-11,18	18,33	39,15	44,65
cotone	75,45	12,55	17,30	-9,13	13,16	19,23	25,03
yak*	64,12±0,03	28,2±0,1	34,5±0,1	-8,88±0,04	26,6±0,1	27,8±0,3	39,5±0,2

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-a (4Br-Ph) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	60,16	31,11	18,50	-23,00	31,32	20,21	43,80
lana	59,83	29,53	32,00	-19,16	29,85	21,06	41,25
filo lana	62,32	27,75	34,01	-16,23	27,88	27,04	42,09
acetato	64,87	26,12	34,30	-19,91	25,97	35,57	48,33
poliammide	60,92	33,03	35,32	-22,55	33,12	37,34	54,77
seta	69,01	15,96	31,47	-14,84	15,96	33,17	39,69
cotone	73,30	11,25	13,58	-11,40	11,16	15,48	22,23
yak	59,40±0,05	28,3±0,1	26,35±0,06	-13,15±0,06	28,4±0,1	19,7±0,3	37,0±0,2

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze



Dati colorimetrici di 3 B-c (4NO<sub>2</sub>-Ph) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	52,32	8,74	-2,45	-29,97	9,64	-1,12	32,16
lana	37,98	12,76	1,71	-38,93	10,44	-9,33	44,00
filo lana	41,20	14,87	1,29	-39,12	13,47	-6,02	43,91
acetato	64,29	19,10	12,00	-18,57	19,34	12,18	31,16
poliammide	36,60	18,40	0,89	-44,47	19,34	2,62	50,60
seta	59,37	17,27	3,30	-24,12	17,91	4,28	30,65
cotone	69,66	4,74	-0,90	-13,55	5,39	0,48	15,88
yak*	40,60±0,01	16,3±0,3	1,20±0,01	-32,40±0,03	14,8±0,3	-5,6±0,3	36,0±0,1

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-c (4NO<sub>2</sub>-Ph) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	51,64	7,42	-4,23	-31,52	7,63	-2,52	32,53
lana	36,68	9,94	-0,95	-42,31	10,26	-11,89	45,13
filo lana	39,68	12,40	-2,02	-38,87	12,53	-8,99	41,82
acetato	61,58	19,18	6,11	-23,20	19,03	7,38	30,90
poliammide	34,67	16,36	-3,41	-48,80	16,45	-1,39	51,52
seta	57,32	17,60	-1,50	-26,53	17,60	0,20	31,84
cotone	69,22	4,67	-2,10	-15,48	4,58	-0,20	16,14
yak*	38,96±0,03	13,4±0,2	-2,3±0,1	-33,58±0,05	13,4±0,3	-8,9±0,3	37,2±0,1

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-a (4Br-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	75,08	12,27	49,69	-7,94	13,09	51,52	53,75
lana	66,51	18,68	63,64	-13,17	16,33	52,52	56,56
filo lana	68,14	21,22	71,22	-14,43	19,75	63,87	68,39
acetato	76,82	14,97	88,08	-7,89	15,32	89,34	90,99
poliammide	72	19,93	80,73	-11,32	20,74	82,85	86,15
seta	77,57	9,84	76,93	-6,17	10,46	78,69	79,62
cotone	78,66	7,36	49,74	-5,92	7,97	51,67	52,62
yak*	64,21±0,15	13,79±0,30	56,27±0,12	-8,79±0,13	12,25±0,28	49,52±0,16	51,77±0,22

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-a (4Br-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	71,91	7,39	46,47	-11,25	7,6	48,18	50,06
lana	62,42	13,54	59,55	-16,57	13,86	48,61	53,19
filo lana	63,54	16,87	66,2	-15,01	17	59,23	63,42
acetato	72,42	10,87	84,37	-12,36	10,72	85,64	87,19
poliammide	67,19	16,83	74,9	-16,28	16,92	76,92	80,42
seta	74,08	3,51	75,48	-9,77	3,51	77,18	77,88
cotone	76,14	0,60	48,53	-8,56	0,51	50,43	51,15
yak*	60,82±0,13	8,64±0,34	54,15±0,20	-11,72±0,16	8,69±0,32	47,53±0,20	49,72±0,25

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-c (4NO<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	59,86	25,76	26,00	-23,16	26,58	27,83	44,92
lana	50,32	35,34	42,51	-29,36	32,99	31,39	54,18
filo lana	49,96	38,04	45,87	-32,61	36,57	38,52	62,33
acetato	57,46	40,95	68,26	-27,25	41,30	69,52	85,33
poliammide	39,08	37,62	30,50	-44,24	38,43	32,62	67,07
seta	52,55	39,46	50,45	-31,19	40,08	52,21	72,84
cotone	61,66	21,86	21,92	-22,92	22,47	23,85	39,99
yak*	46,6±0,1	34,4±0,1	41,1±0,1	-26,4±0,1	32,8±0,1	34,3±0,3	54,3±0,2

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-c (4NO<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	56,00	23,24	19,37	-27,16	23,45	21,08	41,62
lana	44,69	34,04	32,86	-34,30	34,36	21,92	53,27
filo lana	43,89	37,20	35,49	-34,66	37,33	28,52	58,38
acetato	50,38	41,55	56,25	-34,40	41,40	57,52	78,78
poliammide	33,58	36,19	20,75	-49,89	36,28	22,77	65,76
seta	46,16	38,90	39,39	-37,69	38,90	41,09	67,99
cotone	58,38	19,53	16,12	-26,32	19,44	18,02	37,35
yak*	41,1±0,1	33,6±0,1	31,5±0,1	-31,4±0,1	33,6±0,1	24,9±0,3	52,3±0,2

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-a (4Br-H) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	81,59	-0,30	18,46	-1,98	0,40	19,67	19,77
lana	76,29	6,25	35,66	-4,03	3,72	25,11	25,70
acetato	82,40	0,29	38,25	-2,68	0,62	39,14	39,24
poliammide	78,62	2,71	56,99	-4,72	3,55	59,15	59,44
seta	81,09	1,78	37,55	-1,95	2,27	38,74	38,86
cotone	83,44	1,94	14,75	0,60	2,49	16,55	16,75
yak*	73,7±0,6	3,3±0,2	34,4±0,1	-1,1±0,6	1,7±0,2	28,3±0,2	28,4±0,2

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-a (4Br-H) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	80,89	-4,44	18,86	-2,78	-4,20	19,98	20,61
lana	74,30	0,31	34,97	-5,32	0,31	24,66	25,23
acetato	81,15	-9,12	41,37	-3,97	-9,22	42,28	43,46
poliammide	76,60	-7,10	59,44	-6,90	-6,98	61,50	62,28
seta	79,62	-6,33	39,46	-3,50	-6,31	40,61	41,25
cotone	82,61	-1,00	14,46	-0,34	-1,11	16,24	16,28
yak*	72,1±0,6	-3,0±0,4	34,7±0,2	-2,3±0,6	-3,3±0,4	28,8±0,3	29,1±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-b (4OMe-H) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	83,02	-1,38	12,23	0,73	-0,48	13,56	13,59
lana	80,13	2,93	31,38	3,22	0,61	20,34	20,60
acetato	82,27	-0,66	62,79	-0,59	-0,42	62,97	62,97
poliammide	79,98	1,64	66,48	-1,09	2,58	68,21	68,27
seta	82,01	-1,85	39,78	-1,48	-1,21	40,76	40,80
cotone	84,07	-0,88	11,85	0,86	-0,23	13,23	13,26
yak*	76,58±0,23	0,68±0,32	37,78±0,05	4,28±0,12	-0,99±0,29	31,26±0,08	31,57±0,25

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-b (4OMe-H) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	82,7	-4,82	13,11	0,28	-4,26	14,2	14,83
lana	78,7	-3,58	31,73	2,48	-3,15	20,76	21,14
acetato	80,47	-11,46	66,89	-2,4	-11,31	67	67,99
poliammide	77,81	-7,97	68,87	-3,42	-7,48	70,36	70,84
seta	80,94	-11,2	42,78	-2,64	-10,84	43,6	45,00
cotone	83,7	-4,04	12,45	0,38	-3,79	13,68	14,20
yak*	75,24±0,17	-7,22±0,35	39,37±0,08	3,15±0,14	-7,20±0,28	32,99±0,05	33,91±0,24

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-c (4NO<sub>2</sub>-H) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	74,90	12,96	21,58	-8,67	13,66	22,79	27,95
lana	58,63	22,77	40,43	-21,69	20,24	29,88	42,11
filo lana	45,08	23,30	35,39	-35,00	22,11	32,17	52,43
acetato	70,74	27,76	81,03	-14,34	28,09	81,92	87,78
poliammide	41,07	29,73	34,30	-42,27	30,57	36,46	63,64
seta	61,97	24,88	52,37	-21,07	25,37	53,56	62,90
cotone	75,79	11,56	20,47	-7,05	12,11	22,27	26,31
yak*	66,0±0,3	13,2±0,3	43,3±0,5	-8,8±0,3	11,6±0,3	37,2±0,6	40,0±0,5

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-c (4NO<sub>2</sub>-H) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	72,58	10,61	17,99	-11,09	10,85	19,11	24,62
lana	54,68	18,85	35,24	-24,94	18,85	24,93	39,99
filo lana	41,32	19,25	30,23	-38,48	18,56	27,37	50,74
acetato	64,81	27,41	72,24	-20,31	27,31	73,15	80,68
poliammide	36,31	29,08	25,94	-47,19	29,20	28,00	62,16
seta	57,19	23,26	45,05	-25,93	23,28	46,20	57,87
cotone	73,63	9,43	17,04	-9,32	9,32	18,82	22,98
yak*	63,0±0,4	8,2±0,3	40,8±0,5	-11,3±0,4	7,9±0,3	35,0±0,5	37,6±0,5

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-a (4Br-Ph) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	77,92	12,64	21,06	-5,65	13,34	22,27	26,57
lana	75,69	15,55	35,89	-4,63	13,02	25,34	28,86
acetato	80,30	10,58	37,70	-4,78	10,91	38,59	40,39
poliammide	68,93	32,40	60,13	-14,41	33,24	62,29	72,06
seta	78,09	9,23	27,72	-4,95	9,72	28,91	30,90
cotone	82,37	3,53	9,20	-0,47	4,08	11,00	11,74
yak*	75,6±0,2	5,76±0,1	19,7±0,1	0,8±0,2	4,1±0,1	13,6±0,3	14,2±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-a (4Br-Ph) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	75,41	12,78	16,37	-8,26	13,02	17,49	23,32
lana	72,39	13,71	30,61	-7,23	13,71	20,30	25,54
acetato	77,52	7,79	33,63	-7,60	7,69	34,54	36,19
poliammide	62,75	34,08	48,72	-20,75	34,20	50,78	64,64
seta	75,82	7,34	24,00	-7,30	7,36	25,15	27,20
cotone	81,51	2,83	7,73	-1,44	2,72	9,51	10,00
yak*	74,1±0,2	3,3±0,1	18,8±0,2	-0,3±0,2	3,1±0,1	11,9±0,3	12,3±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-b (4OMe-Ph) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	81,74	2,62	17,33	-0,55	3,52	18,66	19,00
lana	76,91	13,56	48,74	0	11,24	37,7	39,34
acetato	76,74	17,15	72,72	-6,12	17,39	72,9	75,19
poliammide	71,19	30,34	75,15	-9,88	31,28	76,88	83,59
seta	77,05	15,1	61,06	-6,44	15,74	62,04	64,33
cotone	82,79	4,42	21,19	-0,42	5,07	22,57	23,14
yak*	74,80±0,04	7,18±0,15	35,20±0,23	2,51±0,03	5,51±0,13	28,69±0,25	29,32±0,24

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-b (4OMe-Ph) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	80,59	1,27	15,41	-1,83	1,83	16,5	16,70
lana	73,4	11,15	43,37	-2,82	11,58	32,4	34,52
acetato	72,15	15,31	66,14	-10,72	15,46	66,25	68,87
poliammide	64,83	32,37	64,02	-16,4	32,86	65,51	75,10
seta	72,95	13,31	54,74	-10,63	13,67	55,56	58,20
cotone	81,28	2,81	18,74	-2,04	3,06	19,97	20,31
yak*	72,50±0,21	4,28±0,32	32,01±0,69	0,41±0,19	4,31±0,31	25,63±0,80	25,99±0,78

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-c (4NO<sub>2</sub>-Ph) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	32,96	17,90	-0,02	-50,61	18,60	1,19	53,93
lana	55,80	13,20	0,87	-24,52	10,67	-9,68	28,44
filo lana	59,51	11,64	-2,13	-20,57	10,45	-5,35	23,68
acetato	68,83	17,59	11,11	-16,25	17,92	12,00	27,00
poliammide	49,27	26,50	-2,53	-34,07	27,34	-0,37	43,68
seta	68,11	20,03	4,78	-14,93	20,52	5,97	26,07
cotone	78,93	3,27	-0,56	-3,91	3,82	1,24	5,61
yak	62,6±0,8	13,4±0,4	2,0±0,2	-12,2±0,8	11,7±0,4	-4,2±0,3	17,4±0,6

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-c (4NO<sub>2</sub>-Ph) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	31,20	14,69	-3,88	-52,47	14,93	-2,76	54,62
lana	54,51	11,08	-1,80	-25,11	11,08	-12,11	30,00
filo lana	58,48	11,01	-4,71	-21,32	10,32	-7,57	24,87
acetato	66,33	17,81	5,68	-18,79	17,71	6,59	26,65
poliammide	46,51	27,59	-9,47	-36,99	27,71	-7,41	46,81
seta	65,63	21,43	-1,01	-17,49	21,45	0,14	27,68
cotone	78,60	3,56	-1,45	-4,35	3,45	0,33	5,56
yak*	61,2±0,9	12,1±0,3	-0,9±0,2	-13,1±0,9	11,8±0,3	-6,8±0,3	18,9±0,6

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-a (4Br-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	82,67	-1,04	25,78	0,38	-0,14	27,11	27,11
lana	75,03	12,08	68,82	-1,88	9,76	57,78	58,63
acetato	81,13	6,39	82,94	-1,73	6,63	83,12	83,40
poliammide	75,04	16,81	85,32	-6,03	17,75	87,05	89,05
seta	79,16	6,95	77,24	-4,33	7,59	78,22	78,71
cotone	80,35	2,36	37,77	-2,86	3,01	39,15	39,37
yak*	74,92±0,85	5,25±0,21	62,45±0,54	2,63±0,84	3,59±0,20	55,94±0,60	56,11±0,73

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-a (4Br-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	81,83	-6,92	26,68	-0,59	-6,36	27,77	28,50
lana	71,54	5,56	66,84	-4,68	5,99	55,87	56,38
acetato	77,91	-0,92	83,42	-4,96	-0,77	83,53	83,68
poliammide	70,38	14,19	79,67	-10,85	14,68	81,16	83,19
seta	75,99	-0,03	76,86	-7,59	0,33	77,68	78,05
cotone	78,77	-4,55	37,8	-4,55	-4,3	39,03	39,53
yak*	72,31±0,85	-1,8±0,21	62,18±0,54	0,22±0,84	-1,79±0,20	55,80±0,60	55,83±0,73

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-b (4OMe-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	82,44	-1,24	28,92	0,15	-0,34	30,25	30,25
lana	77,87	7,93	68,05	0,96	5,61	57,01	57,29
acetato	81,89	3,97	82,32	-0,97	4,21	82,5	82,61
poliammide	76,79	10,79	84,44	-4,28	11,73	86,17	87,07
seta	79,38	5,1	77,84	-4,11	5,74	78,82	79,14
cotone	82,05	1,96	40,74	-1,16	2,61	42,12	42,22
yak*	72,34±0,01	4,66±0,32	66,16±0,54	0,05±0,01	3,00 ±0,32	59,65±0,54	59,73±0,41

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-b (4OMe-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	81,55	-8,02	30,25	-0,87	-7,46	31,34	32,23
lana	74,85	0,45	67,56	-1,37	0,88	56,59	56,61
acetato	79,02	-4,55	84,22	-3,85	-4,4	84,33	84,53
poliammide	72,95	6,01	81,62	-8,28	6,5	83,11	83,77
seta	76,46	-2,65	78,59	-7,12	-2,29	79,41	79,76
cotone	80,39	-5,01	40,71	-2,93	-4,76	41,94	42,31
yak*	69,80±0,02	-3,04±0,38	66,16±0,60	-2,29±0,02	-3,02±0,39	59,78±0,60	59,90±0,54

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-c (4NO<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	76,50	14,43	27,69	-7,07	15,13	28,90	33,38
lana	60,32	34,00	46,11	-20,00	31,47	35,56	51,53
filo lana	58,91	35,43	48,43	-21,17	34,24	45,21	60,54
acetato	67,25	36,58	76,25	-17,83	36,91	77,14	87,35
poliammide	44,84	42,75	39,51	-38,50	43,59	41,67	71,55
seta	58,24	41,08	54,27	-24,80	41,57	55,46	73,61
cotone	72,58	19,05	29,07	-10,26	19,60	30,87	37,98
yak*	56,8±0,3	34,4±0,2	50,2±0,8	-18,0±0,3	32,8±0,2	44,1±0,9	57,8±0,7

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-c (4NO<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato a pH 6 e successivamente lavato  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	73,59	13,61	22,42	-10,08	13,85	23,54	29,11
lana	54,67	32,92	36,51	-24,95	32,92	26,20	48,91
filo lana	53,02	34,70	38,55	-26,78	34,01	35,69	56,10
acetato	60,35	37,79	64,56	-24,77	37,69	65,47	79,50
poliammide	38,33	42,60	27,67	-45,17	42,72	29,73	68,91
seta	51,45	41,46	42,26	-31,67	41,48	43,41	67,88
cotone	69,15	18,02	23,04	-13,80	17,91	24,82	33,57
yak*	51,0±0,2	34,1±0,2	40,1±0,8	-23,4±0,3	33,9±0,2	34,2±0,8	53,5±0,5

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze



Dati colorimetrici di 3 A-a (4Br-H) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene e successivamente lavato

Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	82,57	-0,9	5,39	-0,45	-0,08	7,22	7,23
lana	76,88	4,16	28,25	-2,8	1,81	17,13	17,45
acetato	81,29	0,48	41,29	-3,42	0,83	42,55	42,70
poliammide	77,89	4,39	51,79	-5,43	5,2	53,91	54,43
seta	81,46	0,51	27,72	-2,28	1,13	29,48	29,59
cotone	83,35	1,58	9,88	-1,23	2,19	11,81	12,07
yak*	77,32±0,32	1,76±0,45	21,89±0,90	4,32±0,32	0,22±0,45	15,14±0,90	15,74±0,81

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-a (4Br-H) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene e successivamente lavato

Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	82,43	-2,27	5,67	-0,73	-2,06	7,38	7,70
lana	75,39	-1,45	28,01	-3,6	-1,13	17,07	17,48
acetato	79,84	-7,78	43,03	-4,94	-7,93	44,3	45,27
poliammide	75,71	-3,53	52,15	-7,76	-3,44	54,17	54,83
seta	80,4	-5,72	28,66	-3,45	-5,72	30,36	31,09
cotone	82,71	0,1	9,21	-1,99	0,01	11,11	11,29
yak*	76,32±0,33	-3,34±0,42	22,31±0,87	3,78±0,23	-3,29±0,38	15,70±0,87	16,47±0,76

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-b (4OMe-H) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene e successivamente lavato

Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	77,92	6,42	27,34	-5,1	7,24	29,17	30,48
lana	52,03	21,27	36,08	-27,65	18,92	24,96	41,78
acetato	58,56	27,49	56,2	-26,15	27,84	57,46	69,00
poliammide	38,17	21,34	22,14	-45,15	22,15	24,26	55,84
seta	54,53	22,16	41,18	-29,21	22,78	42,94	56,71
cotone	73,11	5,82	11,75	-11,47	6,43	13,68	18,97
yak	66,51±0,21	14,28±0,03	44,72±0,45	-7,50±0,21	12,74±0,03	37,97±0,48	40,74±0,48

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 A-b (4OMe-H) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene e successivamente lavato

Illuminante D65; osservatore 10°

materiale	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	76,01	3,76	24,7	-7,15	3,97	26,41	27,65
lana	48,33	18,18	30,57	-30,66	18,5	19,63	40,84
acetato	53,37	26,31	47,72	-31,41	26,16	48,99	63,80
poliammide	34,81	20,34	16,14	-48,66	20,43	18,16	55,81
seta	50,45	20,12	34,64	-33,4	20,12	36,34	53,30
cotone	71,97	3,98	10	-12,73	3,89	11,9	17,85
yak*	62,35±0,24	9,42±0,08	41,63±0,54	-10,20±0,24	9,47±0,09	35,0±0,52	37,68±0,52

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-a (4Br-Ph) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene e successivamente lavato

Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	80,00	6,59	12,58	-3,21	7,53	14,17	16,36
lana	75,42	14,95	43,79	-5,04	12,58	33,56	36,19
filo lana	76,30	8,88	34,40	-7,11	7,45	27,88	29,72
acetato	79,66	11,62	45,32	-5,16	12,05	46,11	47,94
poliammide	72,29	25,08	50,21	-10,68	26,03	52,11	59,22
seta	78,79	10,18	37,40	-3,74	10,84	38,59	40,26
cotone	81,50	5,16	10,28	-3,47	5,85	11,88	13,69
yak*	73,3±0,2	8,0±0,1	22,3±0,3	-2,7±0,2	7,8±0,1	18,8±0,3	20,5±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-a (4Br-Ph) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene e successivamente lavato

Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
poliestere	78,60	6,38	9,98	-4,76	6,87	11,36	14,10
lana	71,92	12,83	38,28	-7,87	12,90	28,29	32,07
filo lana	73,78	6,88	30,42	-5,75	6,91	24,61	26,20
acetato	76,48	8,82	40,69	-8,40	8,96	41,40	43,18
poliammide	67,23	26,10	40,67	-15,90	26,48	42,37	52,43
seta	76,01	8,12	32,93	-6,62	8,41	33,97	35,62
cotone	80,43	4,43	8,38	-4,66	4,61	9,86	11,84
yak*	71,4±0,2	6,1±0,1	19,6±0,3	-4,4±0,2	6,8±0,1	15,9±0,3	17,9±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-c (4NO<sub>2</sub>-Ph) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene e successivamente lavato  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	73,11	8,03	-3,70	-10,10	8,97	-2,11	13,67
lana	66,64	18,74	9,97	-13,82	16,37	-0,26	21,43
filo lana	64,01	15,24	2,06	-19,40	13,81	-4,46	24,23
acetato	71,51	22,45	17,76	-13,31	22,88	18,55	32,32
poliammide	45,94	32,71	-2,03	-37,03	33,66	-0,13	50,04
seta	63,85	20,30	4,75	-18,68	20,96	5,94	28,70
cotone	80,89	2,27	-1,53	-4,08	2,96	0,07	5,04
yak*	70,9±0,4	8,1±0,2	5,9±0,1	-5,1±0,4	7,9±0,2	2,3±0,1	9,7±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 B-c (4NO<sub>2</sub>-Ph) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene e successivamente lavato  
Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	72,46	8,84	-5,65	-10,90	9,33	-4,27	14,97
lana	64,16	17,94	5,11	-15,63	18,01	-4,88	24,34
filo lana	62,29	15,36	-1,91	-17,24	15,39	-7,72	24,37
acetato	68,10	23,32	10,56	-16,78	23,46	11,27	30,97
poliammide	42,35	34,42	-10,93	-40,78	34,80	-9,23	54,40
seta	61,35	21,46	-1,12	-21,28	21,75	-0,08	30,43
cotone	80,70	2,85	-2,20	-4,39	3,03	-0,72	5,38
yak*	69,8±0,5	6,7±0,2	4,2±0,1	-6,0±0,5	7,4±0,1	0,5±0,1	9,6±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-a (4Br-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene e successivamente lavato  
Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	82	-0,1	29,3	-1,02	0,72	31,13	31,16
lana	64,93	17,81	61,19	-14,75	15,46	50,07	54,44
acetato	78,44	12,02	87,51	-6,27	12,37	88,77	89,85
poliammide	70,25	21,43	75,39	-13,07	22,24	77,51	81,69
seta	77,12	9,29	72,64	-6,62	9,91	74,4	75,35
cotone	79,79	5,24	41,11	-4,79	5,85	43,04	43,70
yak*	69,9±0,4	10,7±0,2	61,5±0,1	-3,2±0,4	9,1±0,3	54,8±0,1	55,6±0,3

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-a (4Br-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene e successivamente lavato

Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	80,95	-6,28	29,95	-2,21	-6,07	31,66	32,31
lana	61,02	12,56	57,36	-17,97	12,88	46,42	51,42
acetato	74,37	7,47	84,55	-10,41	7,32	85,82	86,76
poliammide	65,39	18,48	68,77	-18,08	18,57	70,79	75,39
seta	73,79	2,87	71,17	-10,06	2,87	72,87	73,62
cotone	77,78	-1,61	40,37	-6,92	-1,7	42,27	42,87
yak*	60,6±0,2	4,4±0,2	59,7±0,1	-5,9±0,2	4,5±0,2	53,1±0,1	53,6±0,2

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-c (4NO<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene e successivamente lavato

Illuminante A; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	69,33	20,70	28,15	-13,88	21,64	29,74	39,31
lana	55,78	33,82	45,26	-24,68	31,45	35,03	53,15
filo lana	52,43	38,00	51,49	-30,98	36,57	44,97	65,72
acetato	59,39	42,85	69,87	-25,43	43,28	70,66	86,68
poliammide	40,48	38,26	33,00	-42,49	39,21	34,90	67,53
seta	54,79	38,23	50,86	-27,74	38,89	52,05	70,65
cotone	66,51	19,68	24,03	-18,46	20,37	25,63	37,58
yak*	51,2±0,2	33,60±0,01	44±1	-24,8±0,2	33,36±0,04	41±1	58,2±0,8

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze

Dati colorimetrici di 3 C-c (4NO<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>) per ogni substrato colorato in presenza di olio di calsolene e successivamente lavato

Illuminante D65; osservatore 10°

campione	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
poliestere	65,80	19,44	21,92	-17,56	19,93	23,30	35,33
lana	50,19	32,83	35,71	-29,60	32,90	25,72	51,19
filo lana	46,16	37,75	40,77	-33,37	37,78	34,96	61,34
acetato	51,93	44,53	57,01	-32,95	44,67	57,72	80,08
poliammide	34,77	37,47	22,74	-48,36	37,85	24,44	66,10
seta	48,50	37,98	39,94	-34,13	38,27	40,98	65,64
cotone	63,30	18,09	18,28	-21,79	18,27	19,76	34,63
yak*	45,7±0,3	33,14±0,01	35±1	-30,1±0,3	33,84±0,01	31±1	54,9±0,7

\*Valori medi dei dati colorimetrici con le corrispettive incertezze