



# **Analisi colorimetrica dell'effetto di pigmenti nuanzanti e candeggianti ottici in impasto e in patina**

***di Folli Michele***



**Scuola Interregionale  
di tecnologia per tecnici Cartari**

---

Istituto Salesiano «San Zeno» - Via Don Minzoni, 50 - 37138 Verona  
[fcs.istitutosalesianosanzeno.it](http://fcs.istitutosalesianosanzeno.it) - [scuolacartaria@sanzeno.org](mailto:scuolacartaria@sanzeno.org)



# INDICE

## 1 - INTRODUZIONE

## 2 - MISURA DEL COLORE

- 2.1 - Natura del colore e riflettanza
- 2.2 - Sistema colorimetrico CIE Lab\*
- 2.3 - Misura strumentale: spettrofotometro Elrepho
- 2.4 - Illuminante e condizioni di misura

## 3 - NUANZANTI E CANDEGGIANTI OTTICI

- 3.1 - Pigmenti nuanzanti
- 3.2 - Candeggianti ottici (OBA)
- 3.3 - Effetto combinato pigmenti – OBA
- 3.4 - Influenza dell'illuminante e metamerismo

## 4 - DIFFERENZA TRA IMPASTO E PATINA

- 4.1 - Colorazione in massa
- 4.2 - Colorazione in patina

## 5 - PROVE SPERIMENTALI

- 5.1 - Materiali e metodo
- 5.2 - Schema delle prove

## 6 - RISULTATI E ANALISI

- 6.1 - Prove in massa: effetto dei soli nuanzanti
- 6.2 - Prove in massa: effetto del solo OBA
- 6.3 - Prove in massa: effetto combinato di nuanzanti e OBA
- 6.4 - Prove in massa: confronto tra diversi livelli di OBA
- 6.5 - Prove in patina: effetto della patina neutra sul supporto
- 6.6 - Prove in patina: effetto dei soli nuanzanti
- 6.7 - Prove in patina: effetto del solo OBA
- 6.8 - Prove in patina: effetto combinato di nuanzanti e OBA
- 6.9 - Prove in patina: confronto tra diversi dosaggi di OBA
- 6.10 - Confronto complessivo tra prove in massa e prove in patina

## **7 - CONCLUSIONI**

## **8 - BIBLIOGRAFIA**

# 1. INTRODUZIONE

Nel settore cartario il colore rappresenta una delle caratteristiche più immediate e rilevanti del prodotto finito. Prima ancora delle proprietà meccaniche, della stampabilità o della lavorabilità, l'aspetto visivo del foglio costituisce il primo elemento di valutazione da parte del cliente. Questo vale non soltanto per le carte colorate, ma anche e soprattutto per le carte bianche, nelle quali piccole variazioni di tono, brillantezza o punto di bianco risultano immediatamente percepibili e possono influenzare in modo significativo il giudizio qualitativo del prodotto. Il colore della carta non è quindi un semplice aspetto estetico, ma una vera e propria variabile tecnologica e commerciale.

Dal punto di vista fisico, il colore non è una proprietà intrinseca della materia, bensì il risultato dell'interazione tra una sorgente luminosa, un oggetto e un osservatore. La carta, quando viene illuminata, assorbe una parte delle radiazioni incidenti e ne riflette un'altra parte; la distribuzione spettrale della luce riflessa viene poi interpretata dal sistema visivo umano come sensazione cromatica. Ne deriva che il colore percepito dipende contemporaneamente dalla composizione della luce, dalle caratteristiche ottiche del foglio e dalle condizioni di osservazione. In ambito industriale questo aspetto è fondamentale, perché la valutazione del colore deve essere trasformata da impressione soggettiva a dato misurabile e riproducibile.

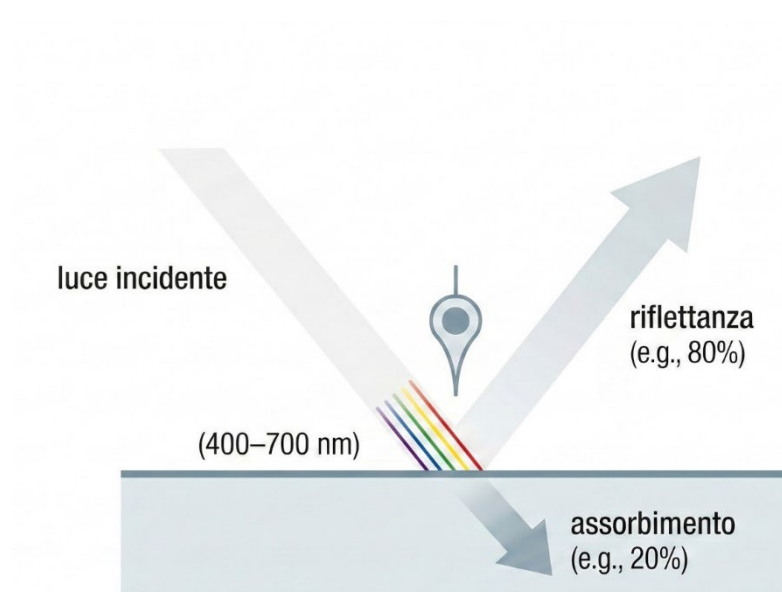
Nella produzione della carta, il controllo coloristico è particolarmente delicato perché il risultato finale è influenzato da molte variabili di processo: composizione fibrosa, grado di raffinazione, presenza di cariche minerali, collatura, additivi di ritenzione, condizioni di pH, umidità del foglio, distribuzione superficiale della patina e modalità di dosaggio dei prodotti coloranti. A ciò si aggiunge il fatto che, nel caso delle carte bianche ad elevato grado di bianco, l'effetto visivo non deriva soltanto dalla riflettanza della superficie, ma anche dalla fluorescenza indotta dai candeggianti ottici. Per questo motivo la gestione del colore in cartiera richiede conoscenze che comprendono colorimetria, chimica dei prodotti coloranti, chimica dei candeggianti ottici, tecnologia di processo e tecniche di misura strumentale.

Lo scopo di questo lavoro è analizzare il ruolo dei nuanzanti e dei candeggianti ottici nella produzione di carta bianca, con particolare attenzione al loro comportamento in massa e in patina, alle differenze applicative tra le due modalità di impiego e alle conseguenze che tali prodotti hanno sul colore finale del foglio. Dopo una parte iniziale dedicata alla misura del colore, verranno esaminati i principali meccanismi di azione dei pigmenti nuanzanti e degli OBA, per poi collegare la teoria alle prove sperimentali di laboratorio svolte con la collaborazione dell'azienda Cromatos.

## 2 - MISURA DEL COLORE

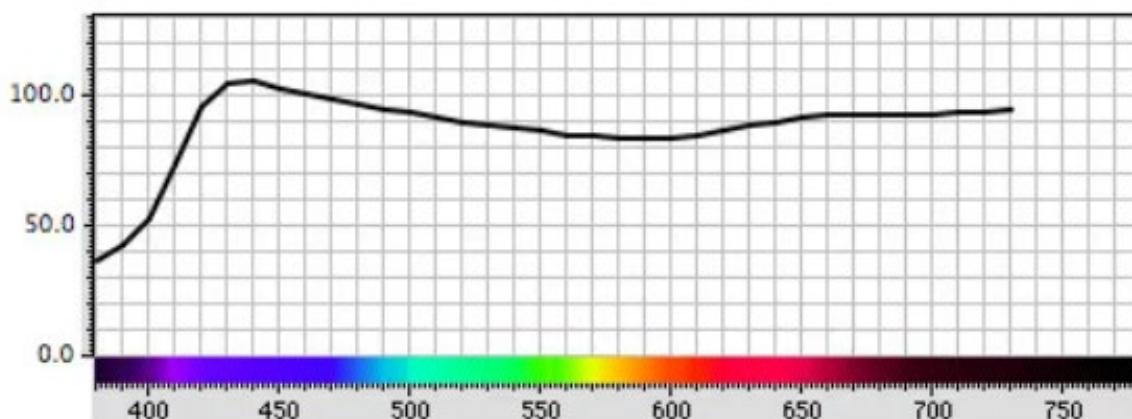
### 2.1 – NATURA DEL COLORE E RIFLETTANZA

Il colore nasce dall'interazione fra luce e materia. Quando un fascio luminoso colpisce una superficie cartacea, una parte dell'energia viene assorbita, una parte viene diffusa internamente e una parte viene riflessa verso l'esterno. La sensazione cromatica dipende proprio dalla distribuzione spettrale della radiazione riflessa. Se la riflessione è uniforme per tutte le lunghezze d'onda del visibile, il materiale apparirà neutro; se invece alcune lunghezze d'onda vengono assorbite preferenzialmente, il foglio assumerà una dominante cromatica corrispondente alle radiazioni riflesse prevalenti.



Nel caso della carta, la riflettanza non dipende soltanto dalla composizione chimica del materiale, ma anche dalla struttura fisica del foglio. Fibre, fini, cariche minerali, porosità, lisciatura e patinatura modificano il modo in cui la luce penetra nella superficie, viene diffusa e riemerge all'esterno. Per questo motivo il colore cartario non può essere interpretato come semplice proprietà superficiale: esso è il risultato di fenomeni complessi di diffusione multipla, assorbimento selettivo e, nel caso della carta contenente candeggianti ottici, anche di fluorescenza.

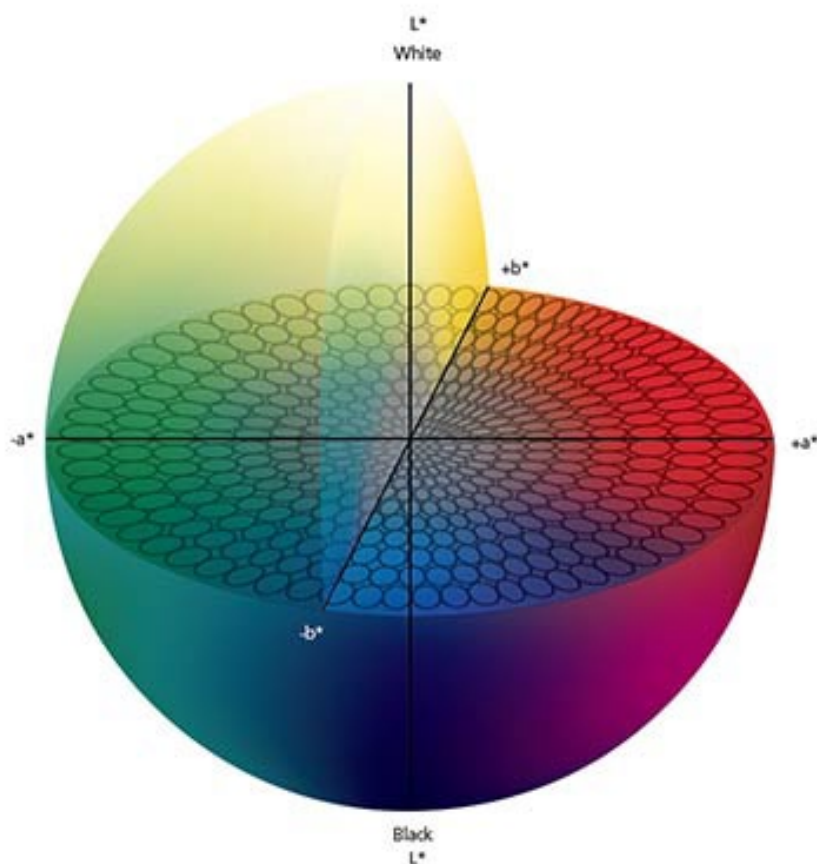
Il concetto di riflettanza spettrale è quindi centrale. Con esso si intende il rapporto tra l'energia luminosa riflessa dal campione e quella riflessa da un riferimento ideale alle varie lunghezze d'onda. La curva di riflettanza fornisce una descrizione molto più completa del colore rispetto alla semplice osservazione visiva, perché mostra come il foglio si comporta lungo l'intero spettro visibile. In presenza di nuanzanti, la curva subisce variazioni selettive in determinate zone dello spettro; in presenza di candeggianti ottici, oltre alla riflettanza si aggiunge un'emissione fluorescente soprattutto nella regione blu-violetta, con aumento apparente del bianco e riduzione della tinta gialla.



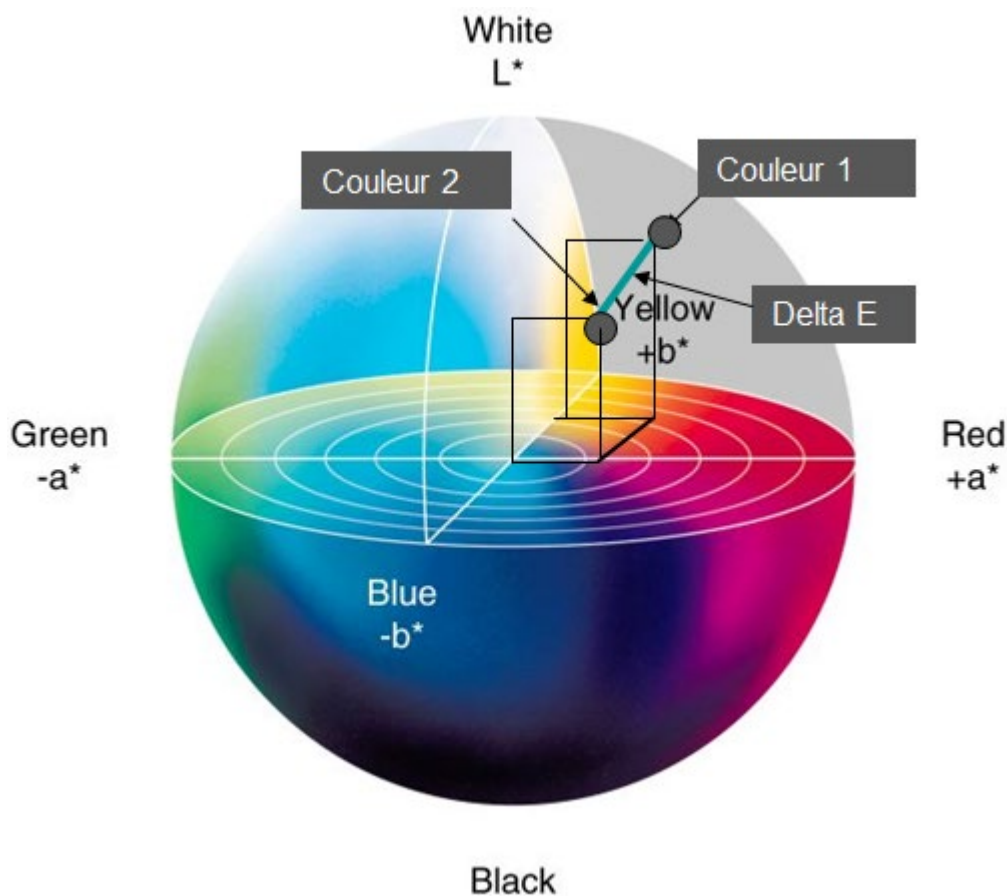
## 2.2 – SISTEMA COLORIMETRICO CIE Lab\*

Per trasformare la curva spettrale in un linguaggio numerico utilizzabile in produzione si ricorre ai sistemi colorimetrici normalizzati. In ambito cartario il sistema più diffuso è il CIE  $L^*a^*b^*$ , perché permette di esprimere il colore in modo tridimensionale e di confrontare in modo pratico campione e standard. In questo spazio la coordinata  $L^*$  rappresenta la luminosità, con valori prossimi a 0 per il nero e prossimi a 100 per il bianco; la coordinata  $a^*$  descrive la posizione sull'asse verde-rosso; la coordinata  $b^*$  descrive la posizione sull'asse blu-giallo.

Il vantaggio operativo del sistema CIE Lab è che consente di leggere immediatamente la direzione dello scostamento coloristico. Un aumento di  $a^*$  indica uno spostamento verso il rosso, mentre una diminuzione indica uno spostamento verso il verde. Analogamente, un aumento di  $b^*$  corrisponde a una deviazione verso il giallo, mentre una diminuzione di  $b^*$  indica una tinta più blu. Nel controllo di produzione questa logica è estremamente utile, perché permette di capire non soltanto se il colore è fuori specifica, ma anche in quale direzione correggerlo.



Un altro parametro fondamentale è la differenza di colore, espressa comunemente come  $\Delta E$ . Essa rappresenta la distanza tra due punti nello spazio colorimetrico: uno corrisponde al campione di riferimento, l'altro al campione misurato. Più il valore di  $\Delta E$  è basso, più i due colori risultano simili. In cartiera il  $\Delta E$  è uno strumento molto pratico di controllo, ma non deve mai essere interpretato isolatamente: due campioni possono avere lo stesso  $\Delta E$  complessivo pur avendo deviazioni diverse su  $L^*$ ,  $a^*$  o  $b^*$ , con effetti percettivi differenti. Per questo motivo il controllo delle singole coordinate rimane essenziale, specialmente nei casi di piccole correzioni di nuance su carte bianche o leggermente tinte.



## 2.3 – MISURA STRUMENTALE: SPETTROFOTOMETRO ED ELREPHO

Lo strumento principale per la misura oggettiva del colore è lo spettrofotometro. Il suo compito è misurare la luce riflessa dal campione alle diverse lunghezze d'onda e ricavare da tali valori le coordinate colorimetriche e altre grandezze ottiche di interesse, come grado di bianco, luminosità, opacità e differenze con e senza componente UV. In sostanza, lo spettrofotometro traduce la risposta ottica del foglio in un insieme di dati numerici utilizzabili per il controllo di qualità e per la correzione di processo.

Tra gli strumenti storicamente più diffusi nel settore cartario vi è lo spettrofotometro Elrepho. L'Elrepho è uno spettrofotometro con sfera di integrazione, progettato per operare con illuminanti normalizzati e per fornire dati affidabili anche su materiali diffondenti come la carta. La luce riflessa dal campione viene separata nelle sue componenti spettrali, rilevata dal sistema ottico e successivamente elaborata per ricavare coordinate CIELAB, indici di bianco e altre grandezze ottiche. Questo tipo di configurazione risulta particolarmente adatto alla carta, perché riduce gli effetti delle disuniformità superficiali e permette misure riproducibili su campioni fibrosi e non perfettamente omogenei.

Nella pratica industriale, la misura strumentale non elimina completamente il giudizio visivo, ma lo supporta e lo rende oggettivo. Il vantaggio decisivo è la possibilità di standardizzare il controllo: due operatori diversi, in condizioni diverse, possono giungere allo stesso risultato strumentale anche quando la percezione soggettiva non sarebbe perfettamente coincidente. Questo aspetto è ancora più importante nella gestione delle carte contenenti OBA, nelle quali piccole variazioni della componente fluorescente possono cambiare sensibilmente l'aspetto del foglio pur in presenza di coordinate Lab apparentemente vicine.

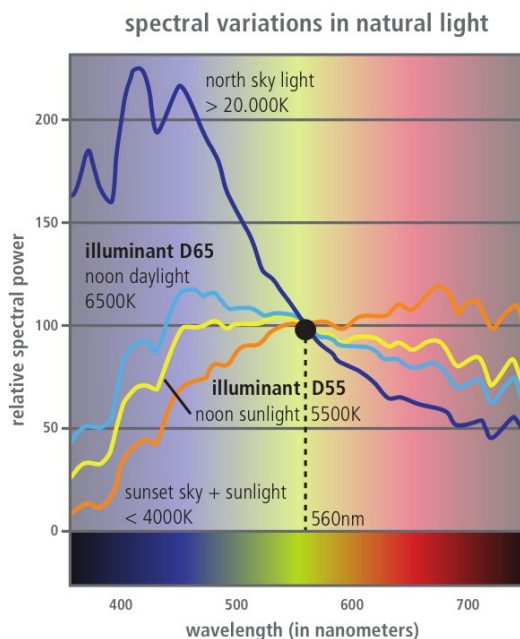


## 2.4 – ILLUMINANTE E CONDIZIONI DI MISURA

La misura del colore non ha significato se non viene associata alle condizioni di osservazione. In colorimetria, il termine illuminante indica una distribuzione spettrale standardizzata della luce usata per simulare specifiche condizioni di visione. La Commission Internationale de l'Éclairage ha definito diversi illuminanti di riferimento, tra cui A, C, D50 e D65, che differiscono per temperatura di colore e, soprattutto, per contenuto energetico nelle varie regioni dello spettro.

Per la carta contenente candeggianti ottici la scelta dell'illuminante è particolarmente critica. Un illuminante povero di ultravioletti eccita debolmente la fluorescenza degli OBA; di conseguenza la stessa carta apparirà meno bianca rispetto a quanto avviene sotto luce diurna o sotto D65, che possiede una componente UV sufficiente ad attivare il candeggio ottico. Questo significa che la valutazione del bianco e della nuance non può prescindere dalla definizione precisa dell'illuminante usato, sia in laboratorio sia nel confronto visivo tra campioni.

Nelle applicazioni cartarie D65 è spesso utilizzato come riferimento per simulare la luce diurna, soprattutto quando si vogliono valutare materiali fluorescenti. In ogni caso, ciò che conta è la coerenza del sistema di misura: confronti, tolleranze, target colorimetrici e giudizi visivi devono essere eseguiti nelle stesse condizioni, altrimenti il rischio di valutazioni incoerenti diventa elevato.



## **3 - NUANZANTI E CANDEGGIANTI OTTICI**

### **3.1 – PIGMENTI NUANZANTI**

Nell'ambito cartario il termine nuanzante indica un prodotto impiegato per correggere o orientare la tinta del foglio, spesso con dosaggi contenuti, senza necessariamente produrre una carta dichiaratamente colorata. Il suo scopo tipico è compensare una dominante indesiderata, per esempio una tendenza al giallo, e portare il foglio verso il tono voluto, spesso percepito come più freddo, più pulito o più brillante. Da un punto di vista pratico, il nuanzante agisce modificando selettivamente la curva di riflettanza del campione, soprattutto nelle zone blu, violetto o rosso-blu, a seconda della tinta richiesta.

A differenza del candeggiante ottico, il nuanzante non genera fluorescenza, ma lavora per assorbimento selettivo. In altre parole, sottrae una parte della radiazione incidente in determinate regioni dello spettro e modifica così il bilanciamento cromatico della luce riflessa. Per questa ragione l'effetto del nuanzante è generalmente più stabile rispetto alle variazioni di UV dell'illuminante, ma è anche meno "potente" in termini di incremento apparente del bianco. Il suo ruolo è quindi soprattutto quello di rifinire e correggere la tinta del foglio e migliorare l'equilibrio visivo del bianco.

Il comportamento dei nuanzanti dipende però dal punto di applicazione, dalla compatibilità con il sistema chimico e dalla loro capacità di distribuirsi in modo uniforme. In massa devono fissarsi correttamente alla fibra o comunque trattenersi nel sistema; in patina devono essere compatibili con pigmenti, leganti, addensanti e altri componenti della formulazione. Dosaggi eccessivi o mal distribuiti possono portare a deviazioni di nuance, doppio viso, non uniformità e problemi di riproducibilità.

### **3.2 – CANDEGGIANTI OTTICI (OBA)**

I candeggianti ottici, o Optical Brightening Agents, sono sostanze fluorescenti capaci di assorbire radiazione ultravioletta, generalmente tra 300 e 400 nm, e riemettere energia nel campo visibile, soprattutto tra 400 e 500 nm. Questa emissione, collocata nella zona blu-violetta, compensa visivamente la componente giallastra del supporto e produce un aumento apparente del grado di bianco. Il risultato non è un vero incremento della riflettanza intrinseca della carta in tutte le lunghezze d'onda, ma un effetto ottico di "sbiancamento" dovuto alla fluorescenza.

Le fonti analizzate indicano che gli OBA cartari sono basati principalmente su derivati dell'acido diamminostilbendisolfonico. La struttura chimica, e in particolare il numero di gruppi solfonici presenti, influenza proprietà fondamentali come solubilità, sostantività per la fibra, stabilità in presenza di prodotti cationici o ambiente acido e idoneità all'impiego in massa oppure in superficie. Per questo motivo gli OBA vengono comunemente distinti in disulfo, tetrasulfo ed esasulfo.

I prodotti disulfo presentano elevata affinità per la fibra e risultano quindi particolarmente adatti all'impiego in massa. Offrono buon potere di accumulo e consentono elevati gradi di bianco, ma mostrano minore stabilità nei confronti di ambienti acidi e sostanze cationiche. I tetrasulfo rappresentano una classe intermedia, con comportamento più universale ma meno specializzato: possono essere utilizzati sia in massa sia in superficie, pur non eccellendo in modo assoluto in nessuna delle due applicazioni. Gli esasulfo, infine, sono molto solubili, poco affini alla fibra e particolarmente idonei ai trattamenti superficiali, dove permettono di raggiungere elevati livelli di bianco grazie agli alti limiti di saturazione.

### **3.3 – EFFETTO COMBINATO PIGMENTI – OBA**

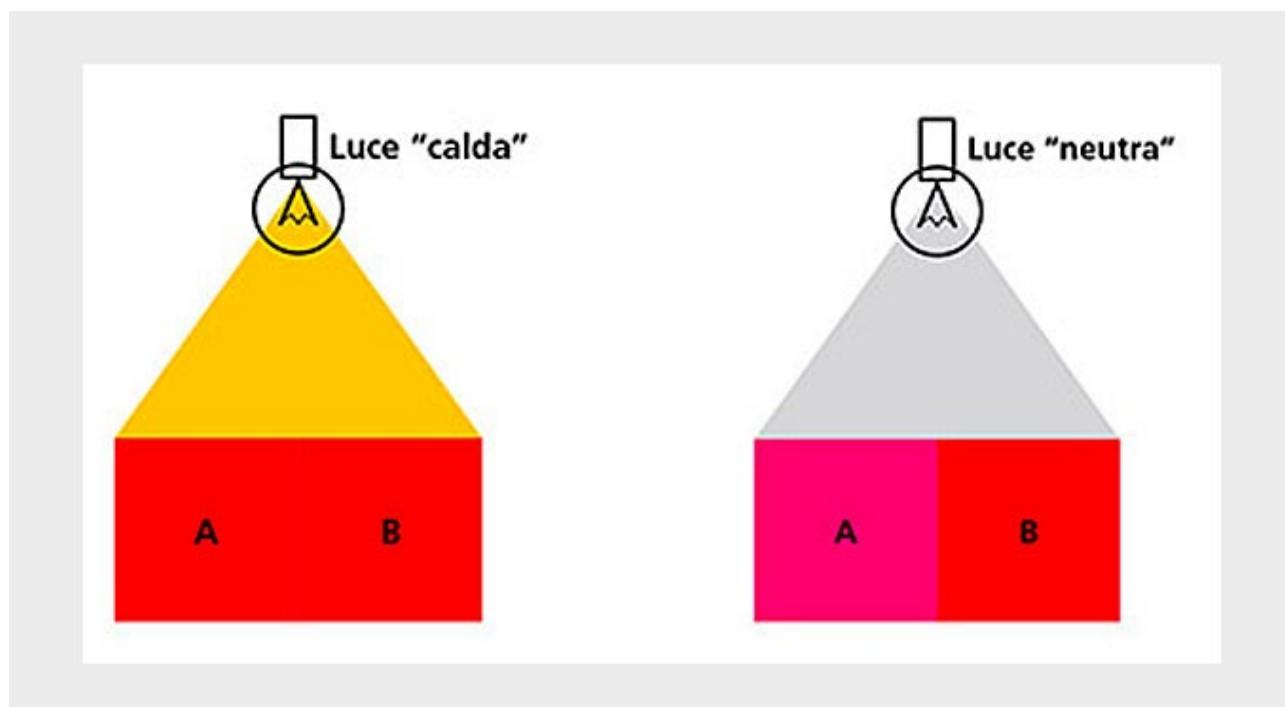
Nella pratica industriale il risultato coloristico migliore si ottiene spesso non con il solo uso di nuanzanti o del solo candeggiante ottico, ma con una combinazione controllata dei due effetti. Il candeggiante ottico aumenta il bianco apparente mediante fluorescenza blu; il nuanzante consente di correggere la tinta del foglio e di riportare il colore verso il punto desiderato. In altri termini, l'OBA fornisce intensità di bianco, mentre il nuanzante ne governa l'equilibrio cromatico.

Questo equilibrio è delicato perché l'incremento del bianco non è illimitato. Dai confronti sperimentali presenti nelle fonti emerge chiaramente il fenomeno della saturazione: alcuni OBA, soprattutto in determinate famiglie chimiche o a dosaggi elevati, smettono di aumentare il grado di bianco e possono addirittura produrre un peggioramento del risultato. Allo stesso tempo, l'andamento della coordinata  $b^*$  mostra che l'incremento del blu apparente e il successivo decadimento sottoesposizione luminosa non sono uguali per tutte le classi di candeggianti. Questo conferma che il sistema nuanzante-OBA deve essere ottimizzato non solo per la resa iniziale, ma anche per la stabilità del risultato nel tempo.

### 3.4 – INFLUENZA DELL'ILLUMINANTE E METAMERISMO

La presenza di candeggianti ottici rende il tema dell'illuminante ancora più importante. Poiché la fluorescenza dipende direttamente dalla quantità di UV presente nella sorgente luminosa, la stessa carta può apparire significativamente diversa se osservata sotto D65, D50 o sotto una comune sorgente artificiale interna. Ne deriva che il bianco “visibile” non è un valore assoluto, ma una risposta dipendente dalla condizione di osservazione. Per questo motivo, nelle carte ad alto bianco, la definizione delle condizioni di misura è parte integrante della specifica tecnica.

A questo si collega il fenomeno del metamerismo. Due campioni possono risultare uguali sotto una determinata sorgente luminosa e diversi sotto un'altra, pur presentando una corrispondenza apparente iniziale. Ciò accade perché i loro spettri di riflettanza non coincidono realmente, anche se i valori colorimetrici calcolati sotto un certo illuminante risultano uguali o molto vicini. In cartiera il problema è rilevante soprattutto quando si confrontano carte ottenute con sistemi coloranti differenti, con diversi rapporti tra nuanzanti e OBA, oppure con diversa composizione di impasto e patina.



## **4 - DIFFERENZA TRA IMPASTO E PATINA**

### **4.1 – COLORAZIONE IN MASSA**

La colorazione in massa consiste nell'introdurre il sistema colorante direttamente nell'impasto fibroso prima della formazione del foglio. Da un punto di vista coloristico, questo metodo è particolarmente efficace perché il prodotto colorante si distribuisce lungo tutto lo spessore della carta, garantendo maggiore uniformità interna e una colorazione meno superficiale. Nel caso delle carte bianche, l'impiego in massa di nuanzanti e OBA consente di agire direttamente sul sistema fibroso e di correggere il tono del foglio fin dalla sua formazione.

Nel caso dei candeggianti ottici, l'applicazione in massa è particolarmente adatta ai prodotti con adeguata sostantività, come i disulfo e, in determinate condizioni, i tetrasulfo. Il loro ancoraggio alla fibra consente rese elevate, minori perdite nelle acque e buona efficacia anche in dosaggio continuo. Tuttavia l'applicazione in massa risente fortemente delle condizioni chimiche del sistema: presenza di cationici, alluminio, pH, tempi di contatto e ordine di aggiunta possono modificare sensibilmente l'efficienza del prodotto.

Per i nuanzanti, la colorazione in massa consente di agire in modo profondo sulla tinta del foglio, ma richiede attenzione alla ritenzione e alla distribuzione. Una fissazione insufficiente o non uniforme può causare non omogeneità, doppio viso o scarso rendimento coloristico. Inoltre la risposta finale dipende anche dalla composizione fibrosa e dalla presenza di cariche, che possono alterare sia l'assorbimento sia la riflettanza complessiva del foglio.

### **4.2 – COLORAZIONE IN PATINA**

La colorazione in patina, o più in generale in superficie, si realizza introducendo nuanzanti e/o candeggianti ottici nella formulazione di coating oppure applicandoli mediante trattamenti superficiali. In questo caso il colore non è distribuito in tutto lo spessore, ma concentrato principalmente nello strato superficiale. Ciò permette di ottenere effetti ottici molto marcati con dosaggi relativamente contenuti, soprattutto per quanto riguarda il grado di bianco, la copertura e la brillantezza superficiale.

Per i candeggianti ottici, l'applicazione in patina è tipicamente associata ai prodotti esasulfo, che hanno bassa affinità per la fibra ma ottima stabilità in ambiente superficiale e limiti di

saturazione elevati. Questa caratteristica li rende particolarmente idonei a raggiungere i massimi livelli di bianco nelle carte patinate. La patina, inoltre, è un sistema complesso in cui l'OBA interagisce con pigmenti, lattice, amido, CMC e altri co-leganti, che ne influenzano la resa e la stabilità.

Da un punto di vista generale, si può affermare che la colorazione in massa agisce in profondità ed è più intimamente legata alla struttura del foglio, mentre la colorazione in patina agisce prevalentemente sull'aspetto superficiale e consente un controllo molto spinto dell'impatto visivo finale. Nelle produzioni più esigenti, soprattutto per carte ad alto grado di bianco, è frequente una strategia combinata: OBA adatto all'uso in massa e OBA più performante in superficie, accompagnati da una nuance finale ottenuta mediante pigmenti o coloranti correttivi.

## 5 - PROVE SPERIMENTALI

### 5.1 – MATERIALI E METODO

L'attività sperimentale è stata svolta con la collaborazione dell'azienda Cromatos, con l'obiettivo di valutare l'effetto dei nuanzanti e dei candeggianti ottici nella produzione di carta bianca, distinguendo due differenti modalità di applicazione: in massa e in patina. L'impostazione del lavoro è stata volutamente comparativa, in modo da osservare separatamente l'effetto dei soli nuanzanti, del solo candeggiante ottico e della loro combinazione, per poi ricondurre i risultati a una valutazione complessiva del comportamento colorimetrico del sistema.

Per le prove in massa è stato utilizzato un impasto costituito da 70% fibra corta e 30% fibra lunga, raffinato fino a 30 °SR. Le sospensioni di laboratorio sono state preparate assumendo come base di calcolo 5 g secchi di fibra su 200 g totali di sospensione. Prima dell'aggiunta dei prodotti coloranti è stato introdotto nel sistema PAC al 2,5%, dosato nella quantità dello 0,3%. Il sistema di prova era quindi costituito esclusivamente da fibra, acqua, PAC e additivi ottici/coloranti, senza ulteriori sostanze ausiliarie.

I nuanzanti utilizzati nelle prove in massa erano costituiti da soluzioni di pigmento blu e pigmento violetto, preparate alla concentrazione di 0,1 g in 200 ml di acqua. I dosaggi impiegati sono quelli riportati nelle schede di misura. A titolo di riferimento, un dosaggio pari a 0,005% di blu, espresso su fibra secca, corrispondeva a 0,25 cc di soluzione. Il candeggiante ottico utilizzato per le prove in massa era di tipo tetrasulfo, quindi adatto a un'applicazione nel sistema fibroso e coerente con una valutazione dell'effetto fluorescente direttamente all'interno dell'impasto.

I fogli di laboratorio sono stati preparati manualmente con formafogli manuale, quindi pressati tra due feltri mediante pressa da laboratorio ed essiccati in stufa a contatto, sempre tra due feltri. La grammatura del foglio non è stata considerata una variabile critica dell'indagine, poiché l'obiettivo della prova non era la caratterizzazione fisico-meccanica del supporto, ma la verifica dell'effetto colorimetrico prodotto dai diversi dosaggi di nuanzanti e candeggiante ottico.

Per le prove in patina è stato invece utilizzato come supporto una carta naturale Sigma da 56 g/m<sup>2</sup>, leggermente nuanzata, a composizione ignota ma costituita da sola fibra lunga e fibra corta, senza CTMP. Tale supporto è stato scelto per disponibilità e utilizzato come base costante per tutta la seconda parte sperimentale. I valori colorimetrici del supporto di partenza risultano pari a  $L^* = 91,08$ ,  $a^* = -0,47$  e  $b^* = 0,86$ .

La formulazione della patina era composta da 70% Carbonato 99 con secco del 78%, 30% Caolino Amazon con secco del 73%, 12 parti di lattice, 0,070 parti di soda e 0,3 parti di CMC. Le percentuali di nuanzanti e OBA in questa parte della sperimentazione sono state espresse sul secco dei pigmenti. Per le prove di candeggio ottico superficiale è stato utilizzato un OBA di tipo esasulfo, classe particolarmente adatta alle applicazioni in superficie grazie alla sua elevata solubilità e alla buona efficacia ottica nello strato superficiale del foglio.

La patina è stata applicata sul supporto Sigma mediante barra automatica, mantenendo costante per tutti i campioni sia la modalità applicativa sia la quantità depositata. La spalmatura è stata condotta a circa 18 g/m<sup>2</sup> di patina secca e i campioni sono stati successivamente essiccati in stufa. Anche in questo caso, l'interesse principale dell'indagine era rivolto alla risposta colorimetrica finale e non alle proprietà tecnologiche del coating.

La valutazione dei campioni, sia per la parte in massa sia per la parte in patina, è stata eseguita attraverso le schede Cromatos, nelle quali ogni sample è stato confrontato con un target di riferimento precedentemente ottenuto. L'analisi si è basata principalmente sui parametri L\*, a\*, b\*, ΔE, WI CIE, WI Hunter, Br ISO 2470, oltre che sull'osservazione delle curve di riflettanza e dei dati di metamerismo riportati nelle schede.

## 5.2 – SCHEMA DELLE PROVE

La sperimentazione è stata suddivisa in due gruppi principali: prove in massa e prove in patina.

Nel primo gruppo sono stati realizzati campioni in massa partendo da una base tal quale, sulla quale sono stati applicati tre livelli crescenti di nuanzanti blu e violetto: 0,0025% Blu + 0,002% Violetto, 0,005% Blu + 0,004% Violetto e 0,0075% Blu + 0,006% Violetto. A queste prove si è aggiunta una valutazione della sola base addizionata con 0,5% OBA, per osservare separatamente l'effetto del solo candeggio ottico. Successivamente sono stati studiati campioni combinati con 0,5% OBA e tre livelli crescenti di nuanzanti, mantenendo la stessa progressione di dosaggi. Infine, per indagare più precisamente il comportamento dell'OBA in massa, è stato effettuato un confronto tra formulazioni con 0,3%, 0,5% e 0,8% OBA a parità di dosaggio di nuanzanti.

Nel secondo gruppo, relativo alla patina, è stato inizialmente caratterizzato il supporto Sigma e successivamente il sistema supporto + patina neutra, al fine di verificare il contributo ottico della sola formulazione di coating rispetto al supporto di partenza. Su questa base sono poi state condotte prove con i soli nuanzanti, con dosaggi di 0,0075% Blu + 0,01% Violetto e 0,015% Blu + 0,02% Violetto, seguite da una prova con la sola patina neutra + 2% OBA.

Infine, sono state studiate le combinazioni tra nuanzanti e OBA, dapprima confrontando due livelli di nuanzanti a 2% OBA, e successivamente confrontando tre livelli di OBA, pari a 1%, 2% e 3%, mantenendo costante il dosaggio di nuanzanti più equilibrato.

L'intero schema sperimentale è stato quindi costruito per rispondere a tre domande principali: quale sia l'effetto dei nuanzanti sul punto di bianco, quale sia l'effetto dell'OBA sul bianco apparente e quale sia, in ciascun sistema, la combinazione più equilibrata fra fluorescenza e correzione cromatica.

## **6 - RISULTATI E ANALISI**

### **6.1 – PROVE IN MASSA: EFFETTO DEI SOLI NUANZANTI**

Le prime prove in massa sono state eseguite sulla base tal quale, variando esclusivamente il dosaggio dei nuanzanti blu e violetto. I risultati mostrano in modo molto chiaro che l'aumento dei dosaggi produce una progressiva riduzione della componente gialla del foglio, ma anche un contemporaneo allontanamento dal target, sia in termini di luminosità sia di equilibrio complessivo della nuance.

Con il dosaggio più basso, pari a 0,0025% Blu + 0,002% Violetto, il campione presenta  $L^* = 91,38$ ,  $a^* = -0,37$  e  $b^* = -0,74$ , contro un target con  $L^* = 95,49$ ,  $a^* = -0,58$  e  $b^* = 4,23$ . Lo scostamento globale è  $\Delta E = 6,45$ , con una differenza di luminosità di  $-4,11$  e una riduzione della coordinata  $b^*$  di  $-4,97$ , che indica un campione meno giallo del riferimento.

Aumentando i dosaggi a 0,005% Blu + 0,004% Violetto, il campione scende a  $L^* = 89,70$  e  $b^* = -3,35$ , con  $\Delta E = 9,55$ . Con il dosaggio più elevato, pari a 0,0075% Blu + 0,006% Violetto, si raggiungono  $L^* = 88,38$  e  $b^* = -5,46$ , con  $\Delta E = 12,04$ .

L'andamento è quindi netto: all'aumentare del nuanzante il foglio perde progressivamente giallo e si raffredda, ma allo stesso tempo si scurisce e si allontana dal target. Il comportamento osservato è coerente con la funzione dei nuanzanti, i quali non aumentano la bianchezza apparente per fluorescenza, ma agiscono per correzione cromatica selettiva. Se il dosaggio è eccessivo, la correzione si trasforma in sovra correzione, con spostamento verso il blu-violetto e perdita di equilibrio visivo.

## 6.2 – PROVE IN MASSA: EFFETTO DEL SOLO OBA

La prova con Base + 0,5% OBA mostra un comportamento nettamente diverso rispetto a quello osservato con i soli nuanzanti. In questo caso il campione raggiunge  $L^* = 96,62$ , quindi risulta leggermente più chiaro del target, mentre  $b^*$  passa da 4,23 del target a -4,40, con una differenza di -8,62. Parallelamente, il WI CIE cresce da 69,66 a 111,09 e il dato di Br ISO 2470 passa da 83,67 a 97,76.

Questi risultati evidenziano il comportamento tipico del candeggiante ottico: il foglio non viene soltanto corretto cromaticamente, ma riceve un deciso contributo di bianco apparente grazie alla fluorescenza. Tuttavia il solo OBA non è sufficiente a riprodurre il target in modo corretto, poiché il campione risulta troppo spostato sul piano cromatico e presenta  $\Delta E = 9,03$ , oltre a un metamerismo sensibilmente più elevato ( $MI = 2,48$ ).

Si può quindi affermare che il solo OBA aumenta fortemente il bianco apparente e riduce la componente gialla, ma non garantisce da sé il corretto bilanciamento della nuance.

## 6.3 – PROVE IN MASSA: EFFETTO COMBINATO DI NUANZANTI E OBA

L'aspetto più interessante della serie in massa è emerso nelle prove in cui il candeggiante ottico tetrasulfo è stato combinato con i nuanzanti. Il campione con 0,0025% Blu + 0,002% Violetto + 0,5% OBA presenta  $\Delta E = 5,31$ , valore inferiore sia rispetto ai campioni con soli nuanzanti sia rispetto alla base con solo OBA. In questo caso il campione risulta un po' più scuro del target ( $dL^* = -2,92$ ) e più blu ( $db^* = -4,43$ ), ma nel complesso mostra il miglior equilibrio fra incremento del bianco e correzione cromatica.

Quando il dosaggio dei nuanzanti viene aumentato a 0,005% Blu + 0,004% Violetto + 0,5% OBA, il campione si allontana ulteriormente dal riferimento, con  $\Delta E = 7,83$ . Il medesimo andamento si conferma nel campione con 0,0075% Blu + 0,006% Violetto + 0,5% OBA, per il quale il  $\Delta E$  sale a 9,94.

L'interpretazione di questa serie è chiara: l'OBA fornisce il contributo principale all'aumento del bianco apparente, mentre i nuanzanti servono come strumento di rifinitura della tinta. Quando il loro dosaggio rimane contenuto, essi migliorano l'equilibrio del sistema; quando invece aumentano troppo, provocano nuovamente una deriva eccessiva verso il blu e un peggioramento del risultato complessivo.

## **6.4 – PROVE IN MASSA: CONFRONTO TRA DIVERSI LIVELLI DI OBA**

Il confronto tra 0,3%, 0,5% e 0,8% OBA, a parità di nuanzanti, permette di valutare più precisamente la sensibilità del sistema all'intensità del candeggio ottico. Il campione con 0,3% OBA presenta  $\Delta E = 2,29$  rispetto al riferimento a 0,5% OBA, risultando leggermente meno luminoso e meno blu. Il campione con 0,8% OBA presenta invece  $\Delta E = 2,51$ , risultando leggermente più spinto verso il blu e con  $WI_{CIE} = 140,92$ , superiore rispetto al riferimento. Questo mostra che, nell'intervallo di dosaggio esaminato, il livello di OBA modifica il bianco apparente e il bilanciamento cromatico, ma non in modo perfettamente lineare. Il valore di 0,5% OBA appare quindi come un compromesso tecnico plausibile all'interno delle condizioni di prova adottate.

## **6.5 – PROVE IN PATINA: EFFETTO DELLA PATINA NEUTRA SUL SUPPORTO**

Il primo passaggio della seconda campagna sperimentale è stato il confronto fra il supporto Sigma e lo stesso supporto rivestito con patina neutra. Il supporto di partenza presenta  $L^* = 91,08$ ,  $a^* = -0,47$  e  $b^* = 0,86$ . Dopo l'applicazione della patina neutra il campione passa a  $L^* = 95,34$ ,  $a^* = -0,47$  e  $b^* = 3,17$ , con  $\Delta E = 4,84$  rispetto al supporto. Il dato di luminosità aumenta di 4,25, mentre la coordinata  $b^*$  cresce di 2,30, indicando un campione più chiaro ma anche più giallo.

Questo risultato è molto significativo, perché dimostra che la sola patina, pur migliorando luminosità, copertura e aspetto superficiale, non conduce automaticamente a un bianco più freddo. Anzi, nel caso in esame, il rivestimento neutro introduce una componente più calda e più gialla che richiede una successiva correzione.

## **6.6 – PROVE IN PATINA: EFFETTO DEI SOLI NUANZANTI**

Sulla base costituita da supporto + patina neutra sono poi stati applicati due differenti livelli di nuanzanti. Con 0,0075% Blu + 0,01% Violetto, il campione raggiunge  $L^* = 93,22$ ,  $a^* = 0,32$  e  $b^* = 0,30$ , con  $\Delta E = 3,64$  rispetto alla patina neutra. Con il dosaggio doppio, pari a 0,015% Blu + 0,02% Violetto, il campione scende a  $L^* = 91,59$ ,  $a^* = 0,96$  e  $b^* = -2,26$ , con  $\Delta E = 6,74$ .

Anche in patina, quindi, i nuanzanti agiscono correttamente nel ridurre la componente gialla introdotta dal coating neutro. Tuttavia il dosaggio più alto determina una sovracorrezione, con spostamento del campione verso una tinta troppo fredda e più scura. Il dosaggio più basso risulta invece molto più equilibrato, poiché riporta  $b^*$  vicino a zero e limita lo scostamento rispetto alla base patinata neutra.

## **6.7 – PROVE IN PATINA: EFFETTO DEL SOLO OBA**

La prova con Patina neutra + 2% OBA mostra il tipico comportamento di un OBA esasulfo applicato superficialmente. Il campione passa a  $L^* = 95,84$ ,  $a^* = 0,69$  e  $b^* = -2,00$ , con  $\Delta E = 5,33$  rispetto alla patina neutra. Il WI CIE sale a 98,60, mentre il Br ISO 2470 raggiunge 92,67. Il metamerismo aumenta a 1,45, confermando una maggiore influenza dell'illuminante sul comportamento visivo del foglio fluorescente.

Il candeggiante ottico superficiale dimostra quindi una forte efficacia nell'aumentare il bianco apparente e nel raffreddare il tono del foglio. Anche in questo caso, però, il solo OBA non esaurisce il controllo della nuance, che richiede una regolazione più fine.

## **6.8 – PROVE IN PATINA: EFFETTO COMBINATO DI NUANZANTI E OBA**

Nelle prove in cui la patina è stata additivata contemporaneamente con nuanzanti e con 2% OBA, il campione più equilibrato è risultato quello con 0,0075% Blu + 0,01% Violetto + 2% OBA, che presenta  $L^* = 93,79$ ,  $a^* = 1,34$  e  $b^* = -3,73$  e  $\Delta E = 2,77$  rispetto al target costituito dalla formulazione con 2% OBA. Il campione con dosaggio doppio di nuanzanti, 0,015% Blu + 0,02% Violetto + 2% OBA, presenta invece  $\Delta E = 6,02$ , con una tinta più spinta verso il blu e un peggior equilibrio generale.

Il comportamento è perfettamente coerente con quanto già osservato nelle prove in massa: anche in patina l'OBA fornisce il contributo principale al bianco apparente, mentre i nuanzanti devono essere impiegati in quantità contenute per correggere la nuance senza provocare eccessi.

## **6.9 – PROVE IN PATINA: CONFRONTO FRA DIVERSI DOSAGGI DI OBA**

Mantenendo costante il dosaggio più equilibrato di nuanzanti, è stato infine confrontato il comportamento di tre livelli di OBA superficiale: 1%, 2% e 3%. Il campione con 1% OBA risulta molto vicino al riferimento con 2% OBA, presentando  $\Delta E = 1,16$  e differenze contenute su tutte le coordinate. Il campione con 3% OBA mostra invece  $\Delta E = 2,78$ , con un incremento della coordinata blu e del WI CIE, che arriva a 113,80.

I risultati indicano che, nel sistema patinato studiato, l'aumento dell'OBA oltre il 2% non migliora l'equilibrio cromatico del campione rispetto al riferimento, ma accentua piuttosto la componente fluorescente e la dipendenza dalla luce. Anche in questo caso, quindi, il valore intermedio appare come il più equilibrato all'interno del campo di prova.

## **6.10 – CONFRONTO COMPLESSIVO TRA PROVE IN MASSA E PROVE IN PATINA**

L'elemento più interessante dell'intera sperimentazione è la forte coerenza tra i risultati ottenuti in massa e quelli ottenuti in patina. In entrambe le condizioni applicative i nuanzanti si sono dimostrati efficaci nel ridurre la componente gialla e nel correggere la tinta del foglio verso un bianco più freddo; tuttavia, in entrambi i casi, l'aumento eccessivo del dosaggio ha portato a una sovracorrezione, con campioni più blu e più scuri del necessario.

Allo stesso modo, sia l'OBA tetrasulfo in massa sia l'OBA esasulfo in patina hanno mostrato di essere molto efficaci nell'incrementare il bianco apparente, ma non tali da garantire da soli la migliore corrispondenza cromatica al target. La fluorescenza aumenta infatti il livello di bianco percepito, ma il corretto punto di bianco richiede anche una regolazione fine della tinta, che viene fornita dai nuanzanti.

La differenza principale tra i due sistemi riguarda il modo in cui l'effetto si manifesta: in massa il controllo del colore è più strettamente legato all'interazione con il sistema fibroso e alla distribuzione del prodotto nell'intero spessore del foglio; in patina, invece, il risultato è dominato dall'effetto superficiale, dalla formulazione del coating e dalla forte risposta ottica dello strato esterno. Nonostante questa differenza di meccanismo, il principio tecnologico emerso è lo stesso in entrambi i casi: il miglior risultato non si ottiene massimizzando un singolo componente, ma bilanciando in modo corretto l'apporto del candeggiante ottico e quello dei nuanzanti.

## 7 - CONCLUSIONI

Le prove sperimentali svolte hanno permesso di dimostrare in modo chiaro che, nella produzione di carta bianca, nuanzanti e candeggianti ottici svolgono funzioni differenti ma strettamente complementari, sia quando vengono impiegati in massa sia quando vengono impiegati in patina.

Nel caso delle prove in massa, i nuanzanti blu e violetto si sono dimostrati efficaci nel correggere la componente gialla del foglio e nello spostare la nuance verso una tinta più fredde. Tuttavia, all'aumentare del dosaggio, il campione ha mostrato una progressiva perdita di luminosità e una sovracorrezione verso il blu-violetto, con aumento del  $\Delta E$  rispetto al target. Il candeggiante ottico tetrasulfo ha invece prodotto un netto incremento del bianco apparente, confermando il ruolo fondamentale della fluorescenza nel miglioramento ottico della carta bianca. Anche in questo caso, però, il solo OBA non è risultato sufficiente per ottenere la migliore corrispondenza cromatica al target, poiché il suo effetto deve essere completato da una correzione fine della tinta.

Le prove in patina hanno confermato lo stesso principio. La sola patina neutra ha migliorato la luminosità e la copertura del supporto, ma ha anche introdotto una componente più gialla. L'aggiunta dei nuanzanti ha permesso di correggere questa deriva, purché il dosaggio rimanesse contenuto. L'OBA esasulfo ha mostrato una forte efficacia nell'aumentare il bianco apparente e nel raffreddare la tinta del foglio, ma anche qui l'equilibrio ottimale è stato ottenuto non col massimo dosaggio, bensì con una combinazione adeguata tra candeggio ottico e correzione cromatica.

Il risultato più importante dell'intero lavoro è quindi la conferma che, nella produzione di carta bianca, l'OBA non sostituisce i nuanzanti e i nuanzanti non sostituiscono l'OBA. Il candeggiante ottico fornisce il principale contributo all'aumento del bianco apparente, mentre i nuanzanti permettono di regolare con precisione la nuance finale, correggendo la tinta del foglio e compensando eventuali derive verso il giallo o verso un bianco otticamente non equilibrato.

Dal punto di vista applicativo, ciò significa che il controllo del colore della carta bianca deve essere affrontato come un problema di bilanciamento. Un eccesso di nuanzante porta facilmente a una carta troppo fredda e più scura; un eccesso di OBA può aumentare il bianco apparente, ma anche accentuare il metamerismo e allontanare il campione dall'equilibrio cromatico desiderato. In entrambe le modalità applicative esaminate, i risultati migliori sono stati ottenuti con dosaggi intermedi o comunque moderati, capaci di combinare l'effetto fluorescente del candeggiante ottico con la correzione fine fornita dai nuanzanti.

In conclusione, il lavoro sperimentale ha mostrato che l'ottenimento di una carta bianca ben equilibrata non dipende dall'impiego di un solo additivo, ma dalla corretta integrazione tra

riflettanza della struttura cartaria, fluorescenza del candeggiante ottico e regolazione cromatica dei nuanzanti. Questa considerazione vale sia per la produzione in massa sia per il trattamento in patina e costituisce il principio tecnico fondamentale emerso dalla presente ricerca.

## 8 - BIBLIOGRAFIA

Cicconi Elena, *Ottimizzazione coloristica nella cartiera Fedrigoni di Pioraco*.

Grelloni Matteo, *Correzioni in continuo del colore della carta in produzione*.

Piermartini Roberto, *La colorazione della carta*.

Cristiano Francesco, *Candeggianti ottici in carte patinate ad elevato grado di bianco*.

Benini Ivan, *Influenza dei pigmenti sulle patine*.

Fornasa Nicolò, *Il colore*.

Giusti Federico, *Principi di colorimetria e riproduzione del colore*.

Rosso Gabriele, *Colorimetria tristimolo e misurazione strumentale del colore della carta*.

Tonelli Stefano, *Carta e colore*.

Schede sperimentali Cromatos relative alle prove in massa.

Schede sperimentali Cromatos relative alle prove in patina e al supporto Sigma.

## 9 - ALLEGATI

### Allegato A – Schede colorimetriche delle prove in massa



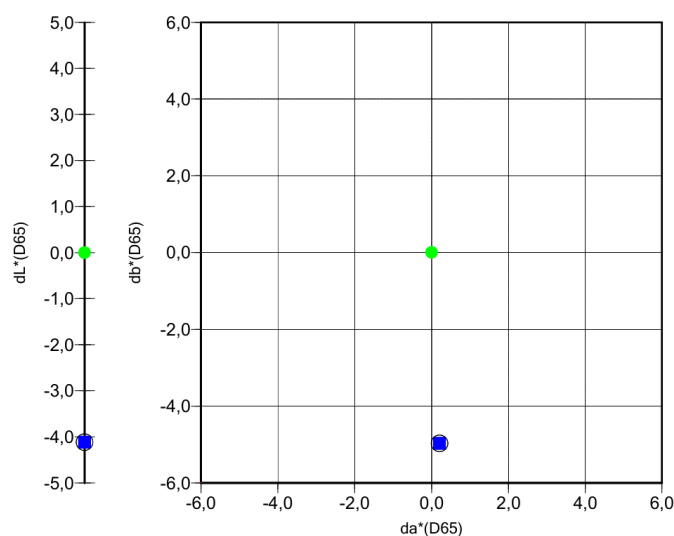
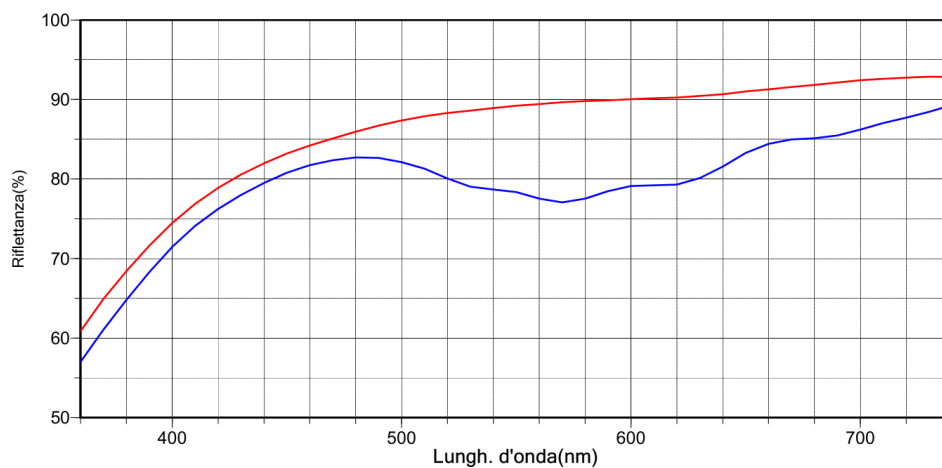
|             |                             |
|-------------|-----------------------------|
| Nome target | Base tal quale              |
| Nome sample | 0.0025% Blu+0.002% Violetto |

| D65       | Target | Sample |
|-----------|--------|--------|
| L*(SCI)   | 95,49  | 91,38  |
| a*(SCI)   | -0,58  | -0,37  |
| b*(SCI)   | 4,23   | -0,74  |
| Diff.     |        |        |
| dL*(SCI)  | -4,11  |        |
| da*(SCI)  | 0,21   |        |
| db*(SCI)  | -4,97  |        |
| dC (SCI)  | -3,44  |        |
| dH (SCI)  | 3,59   |        |
| dE*(SCI)  | 6,45   |        |
| CMC (2:1) | 6,67   |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 69,66  | 82,77  |
| WI Hunter   | 92,87  | 88,89  |
| Br(ISO)2470 | 83,67  | 80,95  |
| Tappi 452   | 83,67  | 80,95  |

|          |                                        |
|----------|----------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 4,11 più scuro       |
|          | Valutazione a*(D65) = 0,21 meno verde  |
|          | Valutazione b*(D65) = 4,97 meno giallo |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 0,67 |
|-------------|--------------------------|



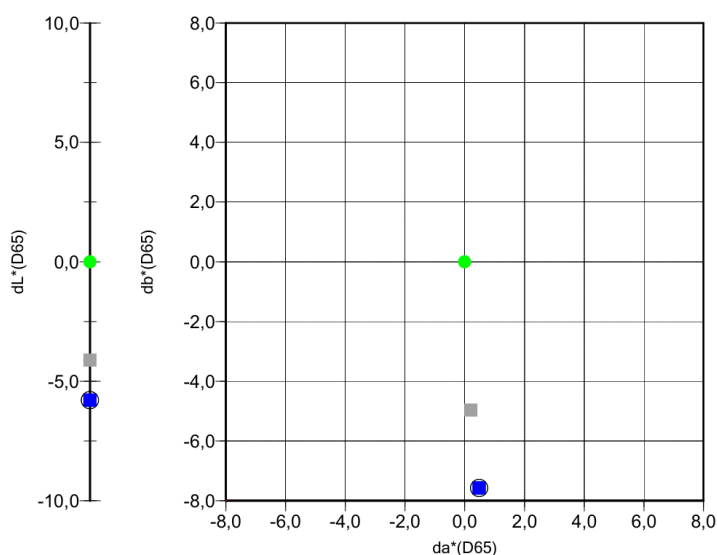
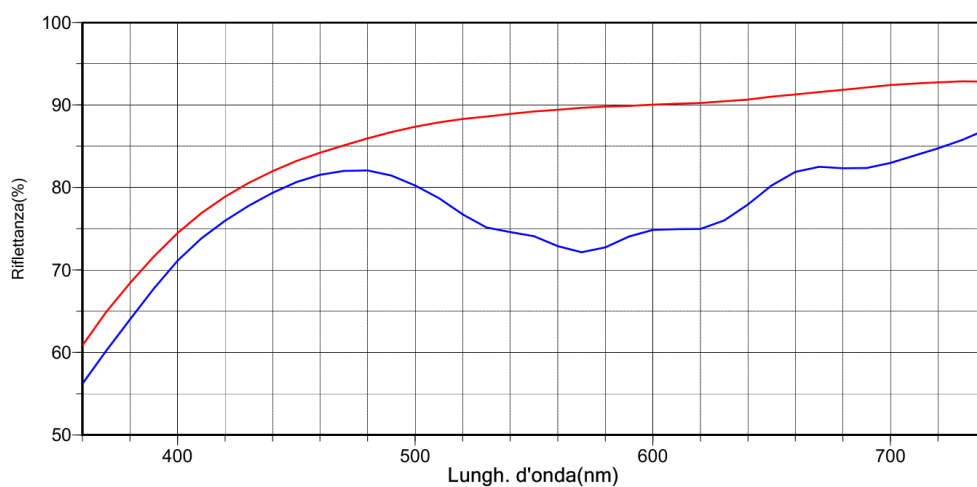
|             |                             |
|-------------|-----------------------------|
| Nome target | Base tal quale              |
| Nome sample | 0.005% Blu+ 0.004% Violetto |

| D65              | Target       | Sample |
|------------------|--------------|--------|
| L*(SCI)          | 95,49        | 89,70  |
| a*(SCI)          | -0,58        | -0,10  |
| b*(SCI)          | 4,23         | -3,35  |
| Diff.            |              |        |
| dL*(SCI)         | -5,79        |        |
| da*(SCI)         | 0,48         |        |
| db*(SCI)         | -7,57        |        |
| dC (SCI)         | -0,92        |        |
| dH (SCI)         | 7,53         |        |
| dE*(SCI)         | 9,55         |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>10,62</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 69,66  | 91,55  |
| WI Hunter   | 92,87  | 86,13  |
| Br(ISO)2470 | 83,67  | 80,61  |
| Tappi 452   | 83,67  | 80,61  |

|          |                                        |
|----------|----------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 5,79 più scuro       |
|          | Valutazione a*(D65) = 0,48 meno verde  |
|          | Valutazione b*(D65) = 7,57 meno giallo |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 1,00 |
|-------------|--------------------------|



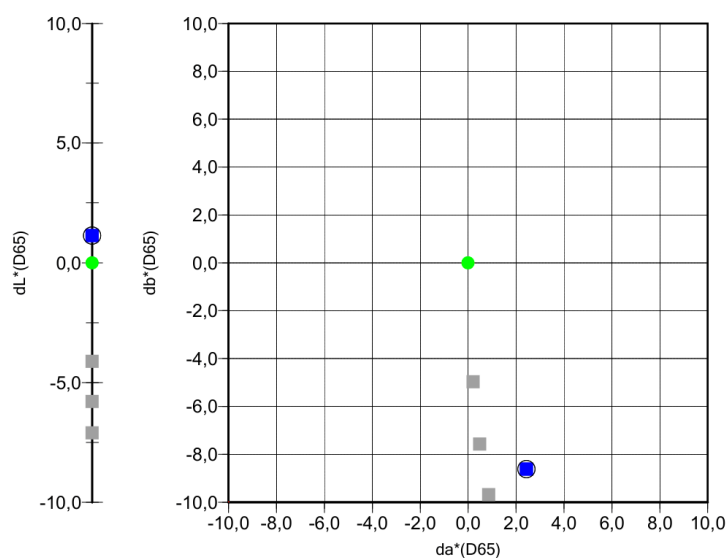
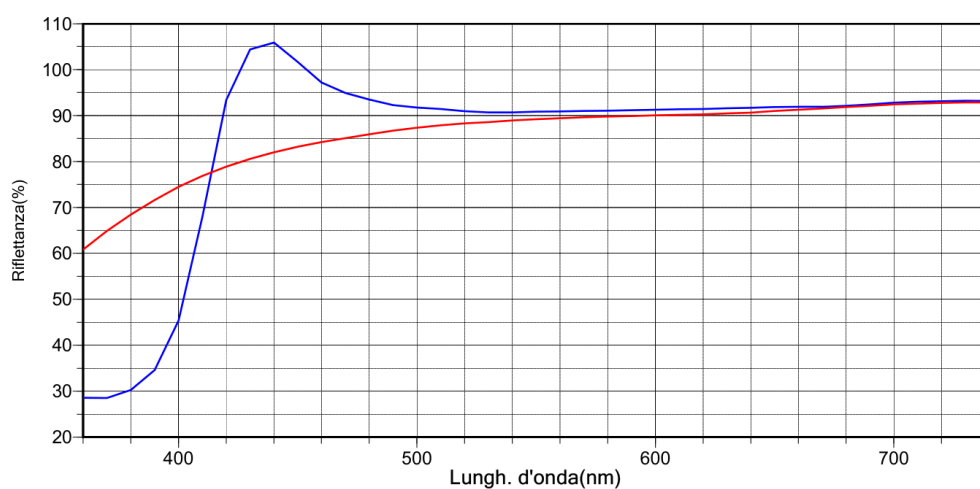
|             |                 |
|-------------|-----------------|
| Nome target | Base tal quale  |
| Nome sample | Base + 0.5% OBA |

| D65              | Target       | Sample |
|------------------|--------------|--------|
| L*(SCI)          | 95,49        | 96,62  |
| a*(SCI)          | -0,58        | 1,85   |
| b*(SCI)          | 4,23         | -4,40  |
| Diff.            |              |        |
| dL*(SCI)         | 1,13         |        |
| da*(SCI)         | 2,43         |        |
| db*(SCI)         | -8,62        |        |
| dC (SCI)         | 0,50         |        |
| dH (SCI)         | -8,94        |        |
| dE*(SCI)         | 9,03         |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>11,67</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 69,66  | 111,09 |
| WI Hunter   | 92,87  | 92,59  |
| Br(ISO)2470 | 83,67  | 97,76  |
| Tappi 452   | 83,67  | 97,77  |

|          |                                        |
|----------|----------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 1,13 più chiaro      |
|          | Valutazione a*(D65) = 2,43 meno verde  |
|          | Valutazione b*(D65) = 8,62 meno giallo |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 2,48 |
|-------------|--------------------------|



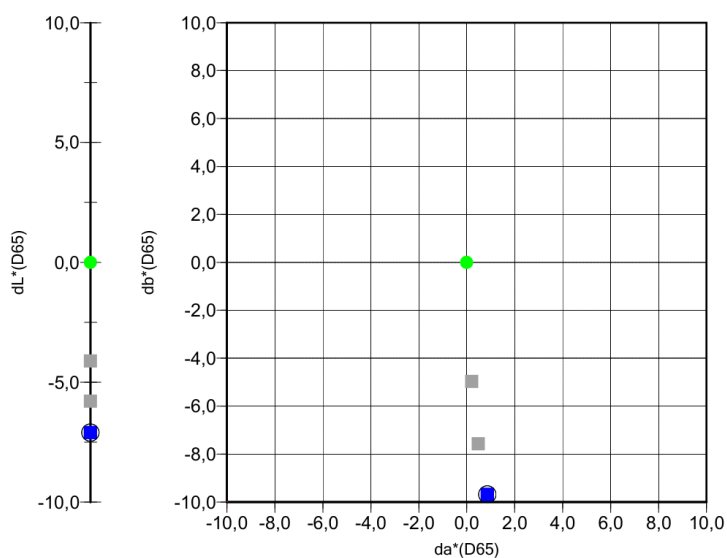
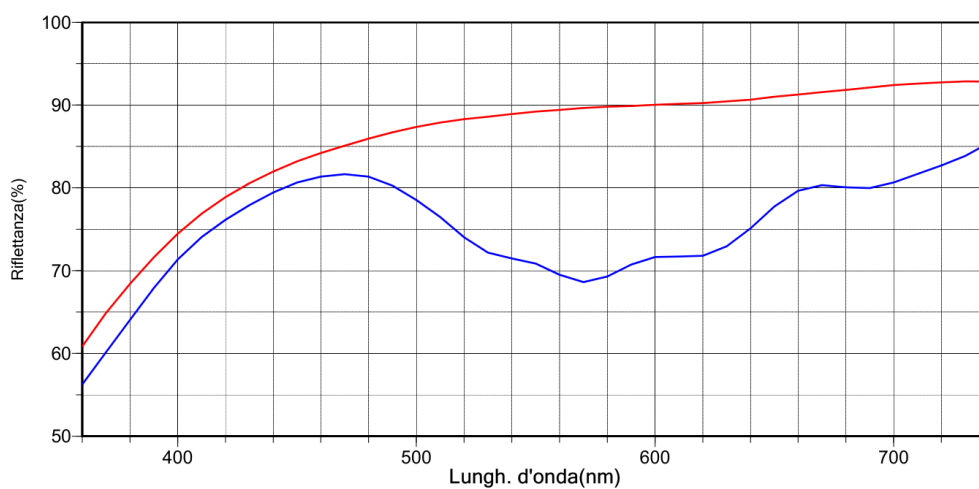
|             |                               |
|-------------|-------------------------------|
| Nome target | Base tal quale                |
| Nome sample | 0.0075% Blu + 0.006% Violetto |

| D65              | Target       | Sample |
|------------------|--------------|--------|
| L*(SCI)          | 95,49        | 88,38  |
| a*(SCI)          | -0,58        | 0,27   |
| b*(SCI)          | 4,23         | -5,46  |
| Diff.            |              |        |
| dL*(SCI)         | -7,11        |        |
| da*(SCI)         | 0,85         |        |
| db*(SCI)         | -9,69        |        |
| dC (SCI)         | 1,20         |        |
| dH (SCI)         | 9,65         |        |
| dE*(SCI)         | 12,04        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>13,53</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 69,66  | 99,10  |
| WI Hunter   | 92,87  | 83,69  |
| Br(ISO)2470 | 83,67  | 80,38  |
| Tappi 452   | 83,67  | 80,38  |

|          |                                        |
|----------|----------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 7,11 più scuro       |
|          | Valutazione a*(D65) = 0,85 meno verde  |
|          | Valutazione b*(D65) = 9,69 meno giallo |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 1,27 |
|-------------|--------------------------|



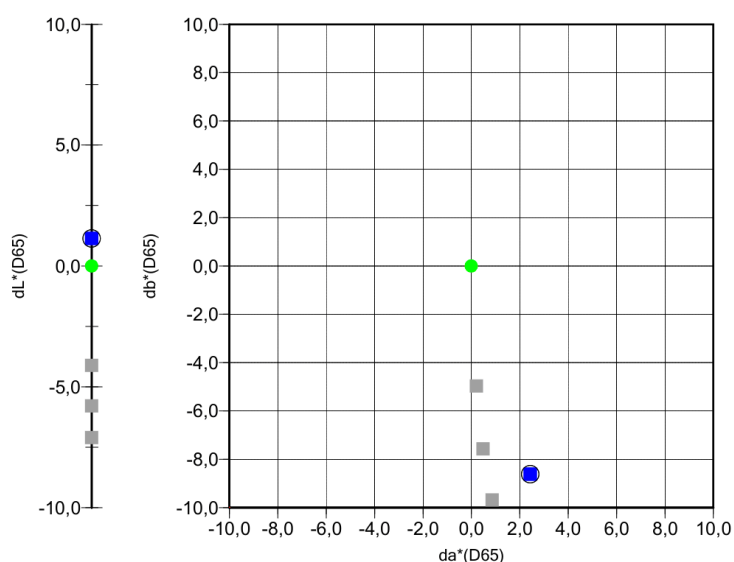
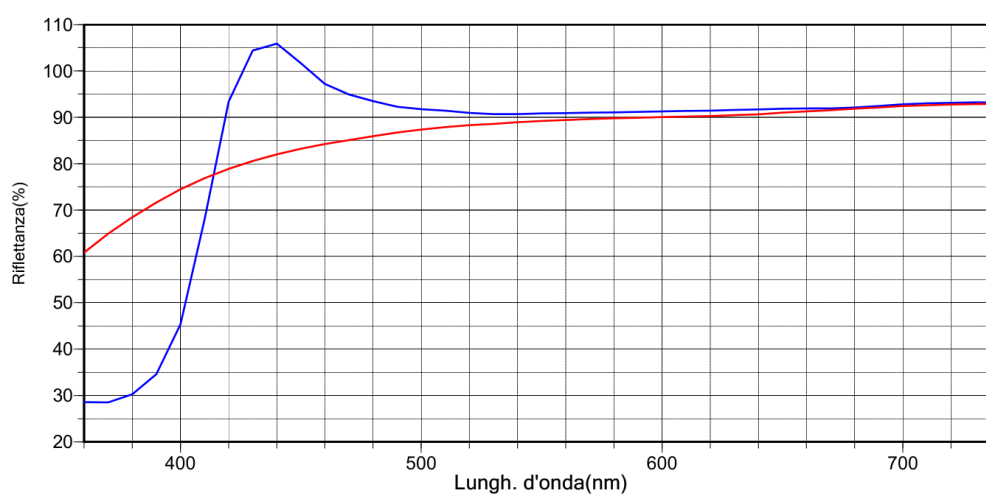
|             |                 |
|-------------|-----------------|
| Nome target | Base tal quale  |
| Nome sample | Base + 0.5% OBA |

| D65              | Target       | Sample |
|------------------|--------------|--------|
| L*(SCI)          | 95,49        | 96,62  |
| a*(SCI)          | -0,58        | 1,85   |
| b*(SCI)          | 4,23         | -4,40  |
| Diff.            |              |        |
| dL*(SCI)         | 1,13         |        |
| da*(SCI)         | 2,43         |        |
| db*(SCI)         | -8,62        |        |
| dC (SCI)         | 0,50         |        |
| dH (SCI)         | -8,94        |        |
| dE*(SCI)         | 9,03         |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>11,67</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 69,66  | 111,09 |
| WI Hunter   | 92,87  | 92,59  |
| Br(ISO)2470 | 83,67  | 97,76  |
| Tappi 452   | 83,67  | 97,77  |

|          |                                        |
|----------|----------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 1,13 più chiaro      |
|          | Valutazione a*(D65) = 2,43 meno verde  |
|          | Valutazione b*(D65) = 8,62 meno giallo |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 2,48 |
|-------------|--------------------------|



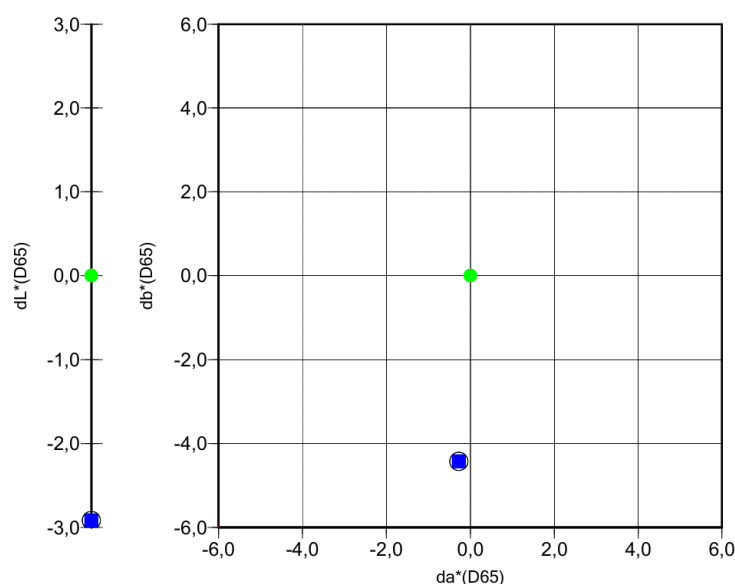
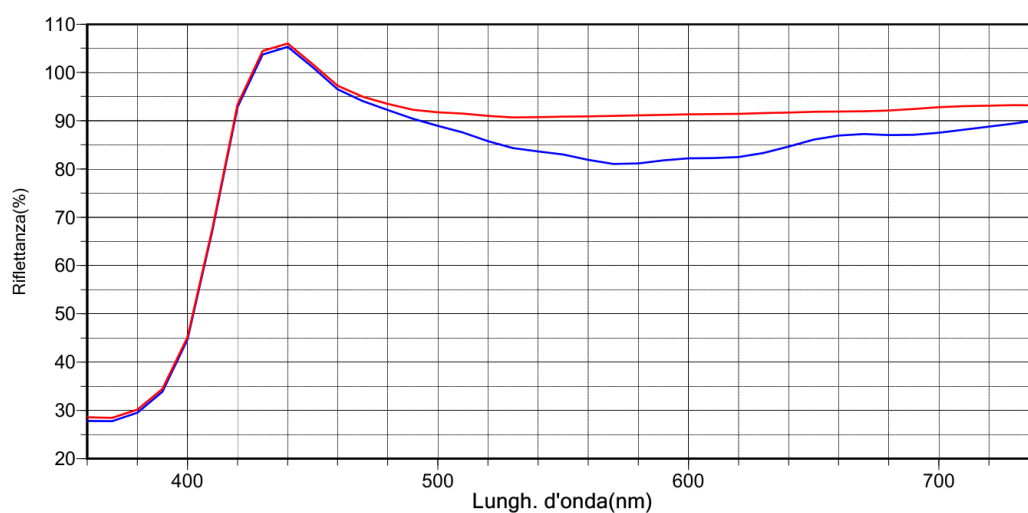
|             |                                          |
|-------------|------------------------------------------|
| Nome target | Base + 0.5% OBA                          |
| Nome sample | 0.0025% Blu + 0.002% Violetto + 0.5% OBA |

| D65              | Target      | Sample |
|------------------|-------------|--------|
| L*(SCI)          | 96,63       | 93,71  |
| a*(SCI)          | 1,84        | 1,57   |
| b*(SCI)          | -4,41       | -8,84  |
| Diff.            |             |        |
| dL*(SCI)         | -2,92       |        |
| da*(SCI)         | -0,27       |        |
| db*(SCI)         | -4,43       |        |
| dC (SCI)         | 4,20        |        |
| dH (SCI)         | -1,44       |        |
| dE*(SCI)         | 5,31        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>5,31</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 111,17 | 124,85 |
| WI Hunter   | 92,58  | 86,22  |
| Br(ISO)2470 | 97,81  | 96,94  |
| Tappi 452   | 97,82  | 96,96  |

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 2,92 più scuro      |
|          | Valutazione a*(D65) = 0,27 meno rosso |
|          | Valutazione b*(D65) = 4,43 più blu    |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 0,63 |
|-------------|--------------------------|



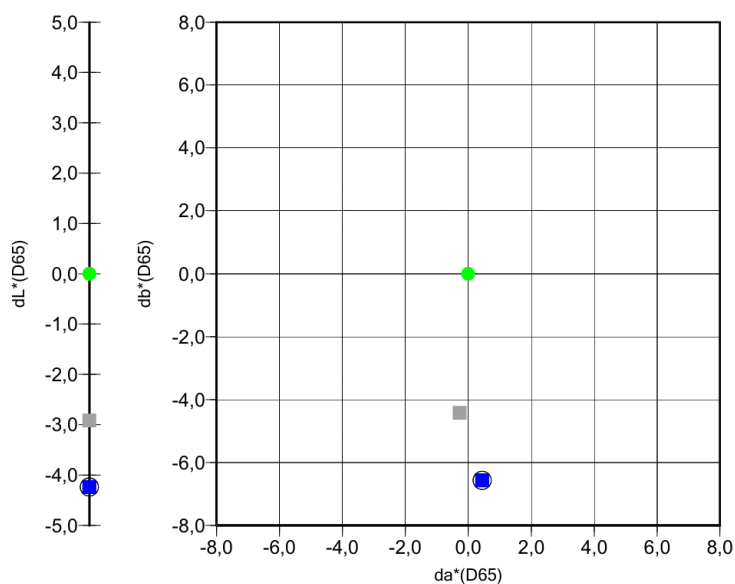
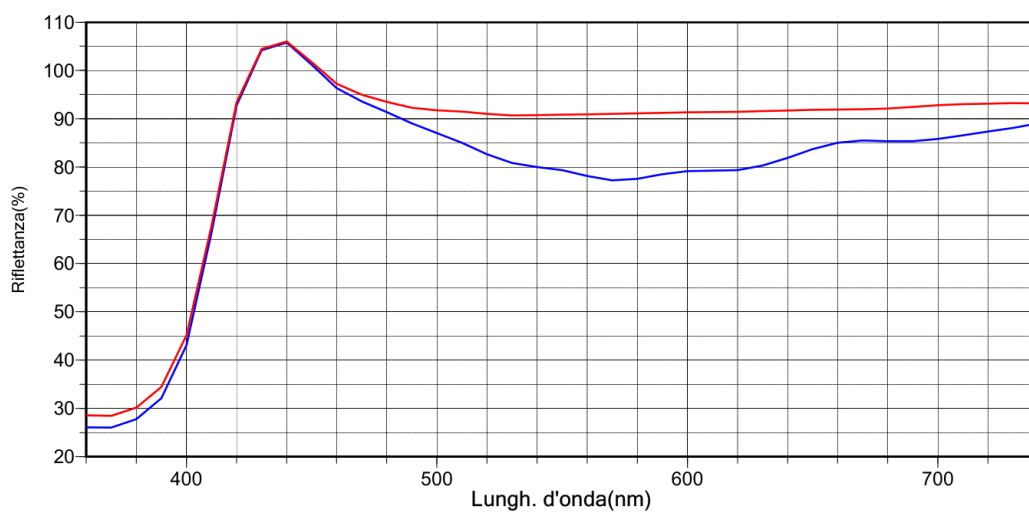
|             |                                         |
|-------------|-----------------------------------------|
| Nome target | Base + 0.5% OBA                         |
| Nome sample | 0.005% Blu + 0.004% Violetto + 0.5% OBA |

| D65              | Target      | Sample |
|------------------|-------------|--------|
| L*(SCI)          | 96,63       | 92,39  |
| a*(SCI)          | 1,84        | 2,29   |
| b*(SCI)          | -4,41       | -10,98 |
| Diff.            |             |        |
| dL*(SCI)         | -4,24       |        |
| da*(SCI)         | 0,44        |        |
| db*(SCI)         | -6,57       |        |
| dC (SCI)         | 6,44        |        |
| dH (SCI)         | -1,39       |        |
| dE*(SCI)         | 7,83        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>7,76</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 111,17 | 132,06 |
| WI Hunter   | 92,58  | 82,97  |
| Br(ISO)2470 | 97,81  | 96,72  |
| Tappi 452   | 97,82  | 96,73  |

|          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 4,24 più scuro     |
|          | Valutazione a*(D65) = 0,44 più rosso |
|          | Valutazione b*(D65) = 6,57 più blu   |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 0,97 |
|-------------|--------------------------|



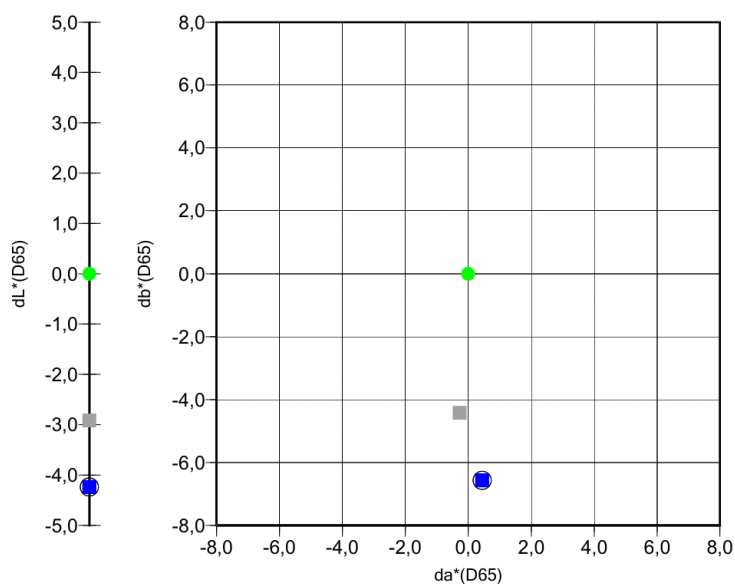
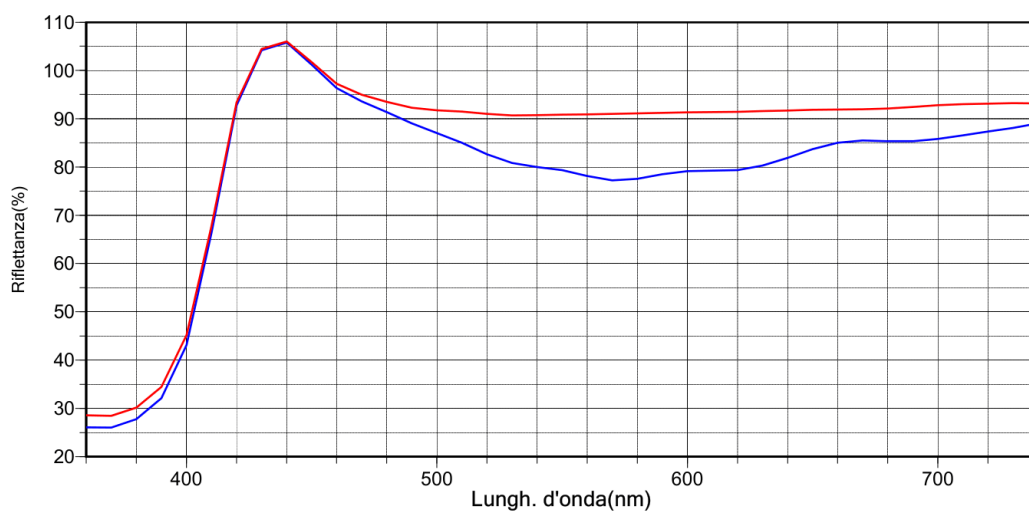
|             |                                         |
|-------------|-----------------------------------------|
| Nome target | Base + 0.5% OBA                         |
| Nome sample | 0.005% Blu + 0.004% Violetto + 0.5% OBA |

| D65              | Target      | Sample |
|------------------|-------------|--------|
| L*(SCI)          | 96,63       | 92,39  |
| a*(SCI)          | 1,84        | 2,29   |
| b*(SCI)          | -4,41       | -10,98 |
| Diff.            |             |        |
| dL*(SCI)         | -4,24       |        |
| da*(SCI)         | 0,44        |        |
| db*(SCI)         | -6,57       |        |
| dC (SCI)         | 6,44        |        |
| dH (SCI)         | -1,39       |        |
| dE*(SCI)         | 7,83        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>7,76</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 111,17 | 132,06 |
| WI Hunter   | 92,58  | 82,97  |
| Br(ISO)2470 | 97,81  | 96,72  |
| Tappi 452   | 97,82  | 96,73  |

|          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 4,24 più scuro     |
|          | Valutazione a*(D65) = 0,44 più rosso |
|          | Valutazione b*(D65) = 6,57 più blu   |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 0,97 |
|-------------|--------------------------|



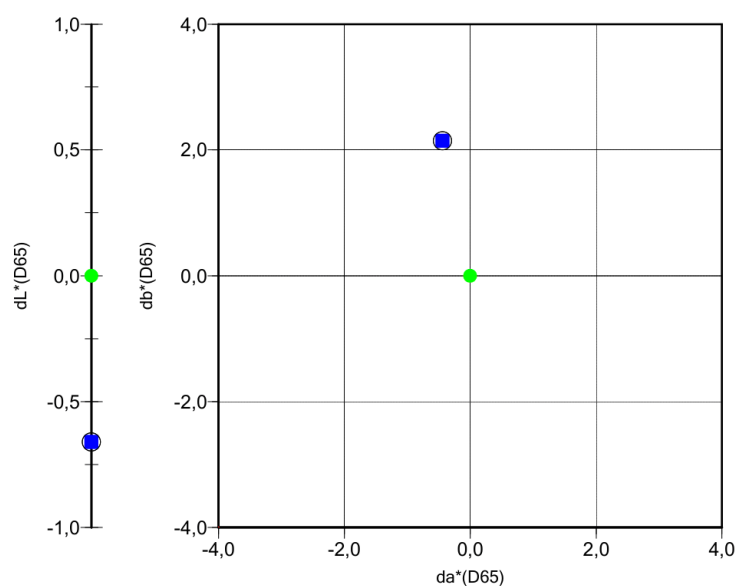
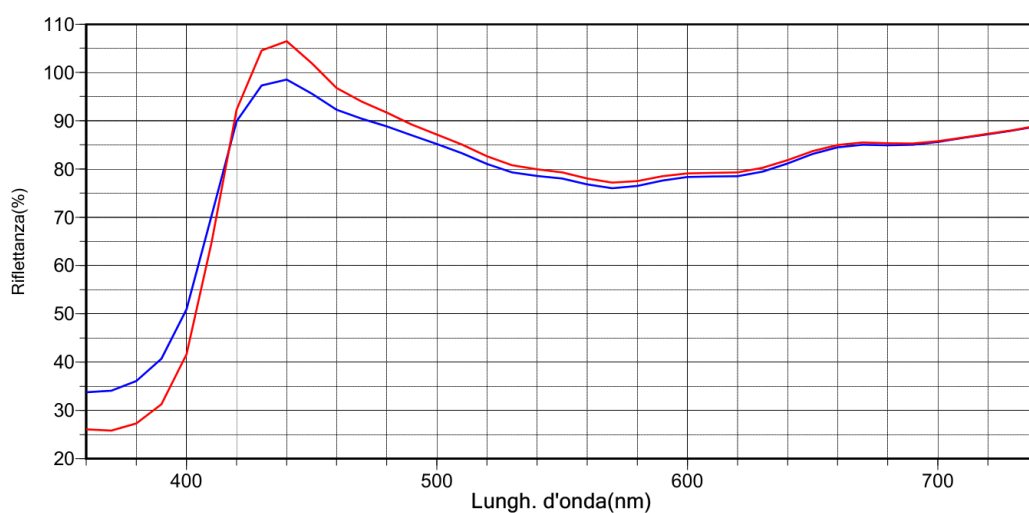
|             |                                         |
|-------------|-----------------------------------------|
| Nome target | 0.005% Blu + 0.004% Violetto + 0.5% OBA |
| Nome sample | 0.005% Blu + 0.004% Violetto + 0.3% OBA |

| D65              | Target      | Sample |
|------------------|-------------|--------|
| L*(SCI)          | 92,39       | 91,73  |
| a*(SCI)          | 2,33        | 1,89   |
| b*(SCI)          | -11,21      | -9,07  |
| Diff.            |             |        |
| dL*(SCI)         | -0,66       |        |
| da*(SCI)         | -0,44       |        |
| db*(SCI)         | 2,14        |        |
| dC (SCI)         | -2,19       |        |
| dH (SCI)         | 0,01        |        |
| dE*(SCI)         | 2,29        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>1,78</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 133,13 | 122,15 |
| WI Hunter   | 82,69  | 84,38  |
| Br(ISO)2470 | 97,12  | 92,44  |
| Tappi 452   | 97,13  | 92,45  |

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 0,66 più scuro      |
|          | Valutazione a*(D65) = 0,44 meno rosso |
|          | Valutazione b*(D65) = 2,14 meno blu   |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 0,81 |
|-------------|--------------------------|



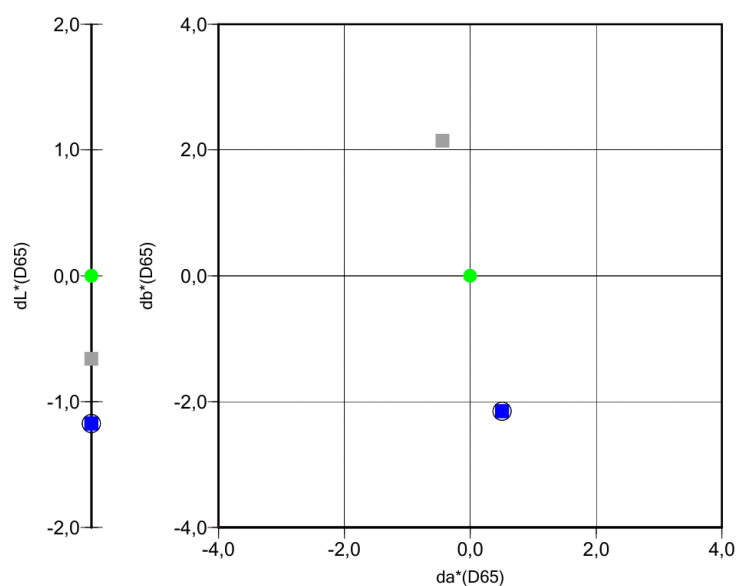
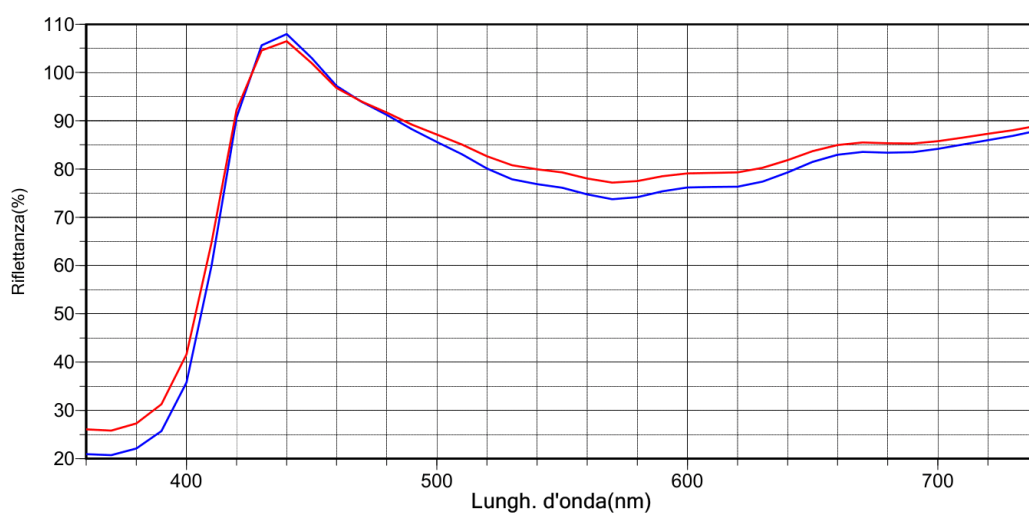
|             |                                         |
|-------------|-----------------------------------------|
| Nome target | 0.005% Blu + 0.004% Violetto + 0.5% OBA |
| Nome sample | 0.005% Blu + 0.004% Violetto + 0.8% OBA |

| D65              | Target      | Sample |
|------------------|-------------|--------|
| L*(SCI)          | 92,39       | 91,22  |
| a*(SCI)          | 2,33        | 2,83   |
| b*(SCI)          | -11,21      | -13,37 |
| Diff.            |             |        |
| dL*(SCI)         | -1,18       |        |
| da*(SCI)         | 0,51        |        |
| db*(SCI)         | -2,16       |        |
| dC (SCI)         | 2,21        |        |
| dH (SCI)         | 0,05        |        |
| dE*(SCI)         | 2,51        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>1,92</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 133,13 | 140,92 |
| WI Hunter   | 82,69  | 79,46  |
| Br(ISO)2470 | 97,12  | 97,39  |
| Tappi 452   | 97,13  | 97,41  |

|          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 1,18 più scuro     |
|          | Valutazione a*(D65) = 0,51 più rosso |
|          | Valutazione b*(D65) = 2,16 più blu   |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 0,51 |
|-------------|--------------------------|



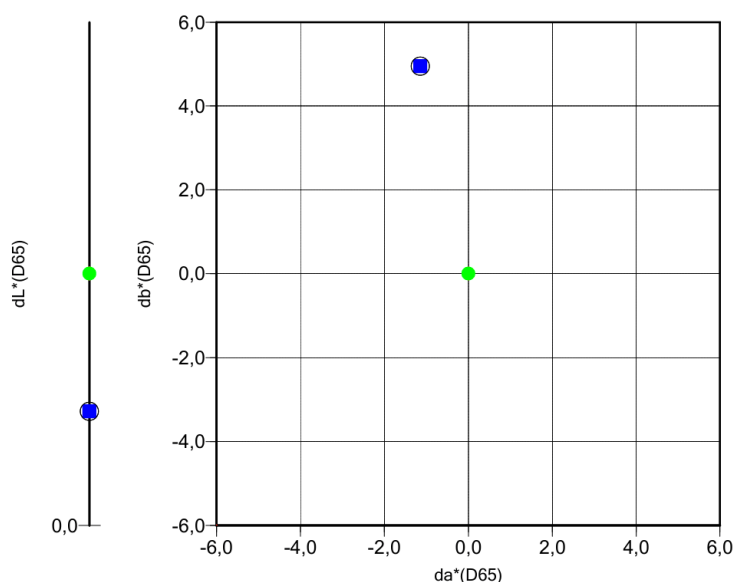
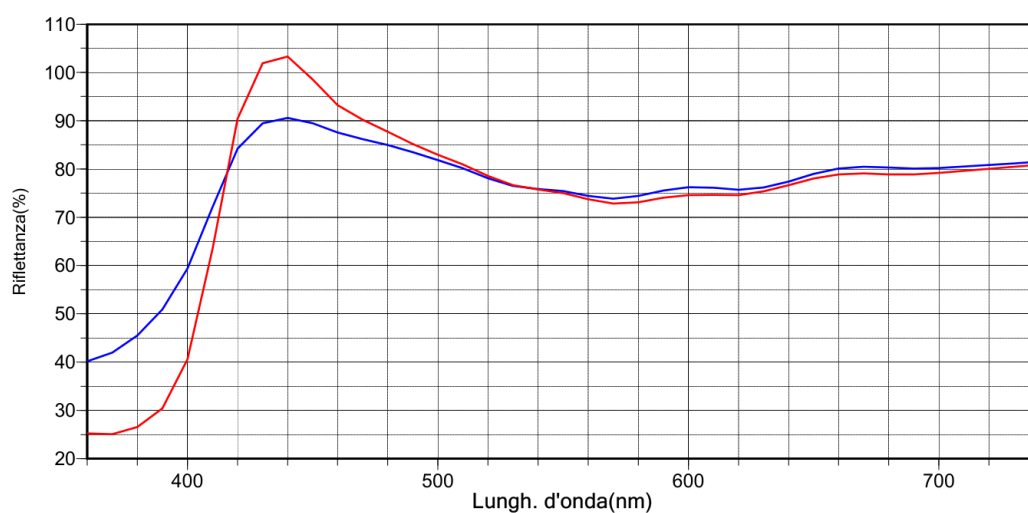
|             |                                               |
|-------------|-----------------------------------------------|
| Nome target | 0.005% Blu + 0.004% Violetto + 0.5% OBA MASSA |
| Nome sample | 0.0075% Blu + 0.01% Violetto + 2% OBA PATINA  |

| D65              | Target      | Sample |
|------------------|-------------|--------|
| L*(SCI)          | 90,46       | 90,46  |
| a*(SCI)          | 2,41        | 1,27   |
| b*(SCI)          | -12,31      | -7,37  |
| Diff.            |             |        |
| dL*(SCI)         | -0,01       |        |
| da*(SCI)         | -1,14       |        |
| db*(SCI)         | 4,95        |        |
| dC (SCI)         | -5,07       |        |
| dH (SCI)         | -0,22       |        |
| dE*(SCI)         | 5,08        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>3,84</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 134,83 | 111,91 |
| WI Hunter   | 80,28  | 84,74  |
| Br(ISO)2470 | 93,70  | 87,18  |
| Tappi 452   | 93,72  | 87,19  |

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 0,01 più scuro      |
|          | Valutazione a*(D65) = 1,14 meno rosso |
|          | Valutazione b*(D65) = 4,95 meno blu   |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 1,57 |
|-------------|--------------------------|



## Allegato B – Schede colorimetriche delle prove in patina



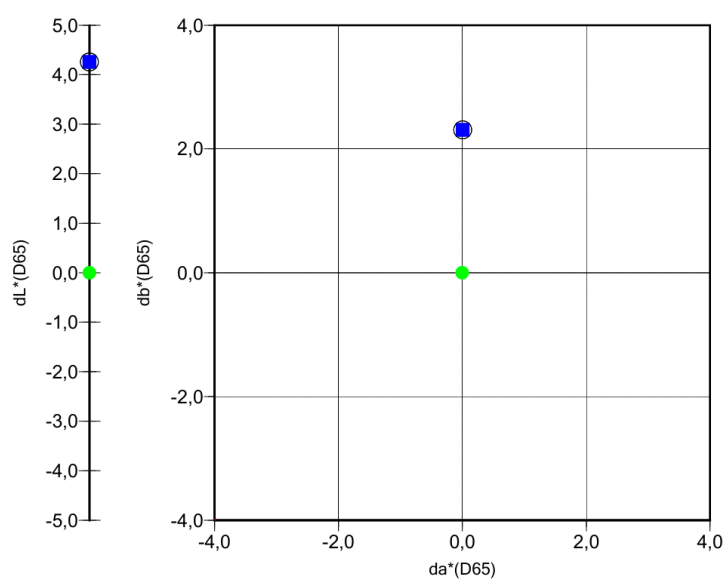
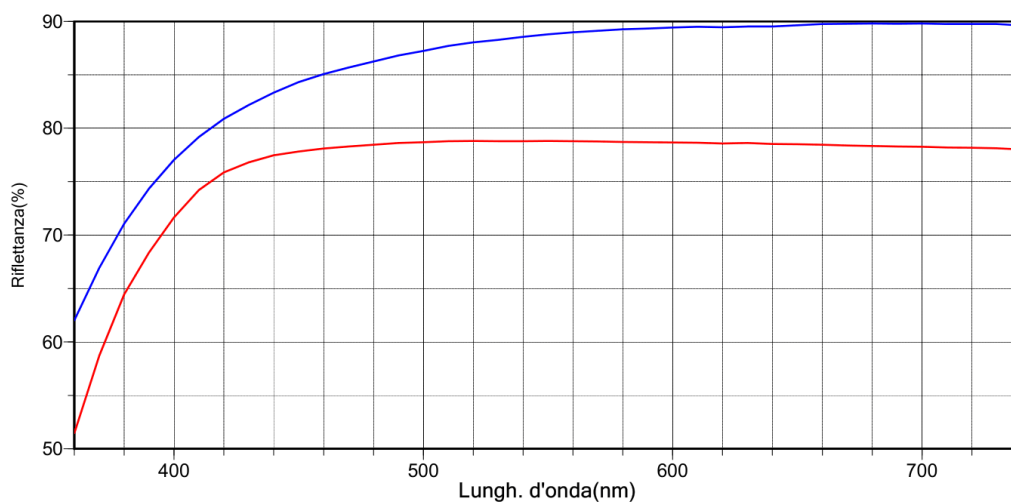
|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Nome target | Supporto SIGMA           |
| Nome sample | Supporto + Patina Neutra |

| D65              | Target      | Sample |
|------------------|-------------|--------|
| L*(SCI)          | 91,08       | 95,34  |
| a*(SCI)          | -0,47       | -0,47  |
| b*(SCI)          | 0,86        | 3,17   |
| Diff.            |             |        |
| dL*(SCI)         | 4,25        |        |
| da*(SCI)         | 0,01        |        |
| db*(SCI)         | 2,30        |        |
| dC (SCI)         | 2,22        |        |
| dH (SCI)         | -0,63       |        |
| dE*(SCI)         | 4,84        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>4,44</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 74,60  | 74,07  |
| WI Hunter   | 88,67  | 93,27  |
| Br(ISO)2470 | 77,82  | 84,59  |
| Tappi 452   | 77,82  | 84,59  |

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 4,25 più chiaro     |
|          | Valutazione a*(D65) = 0,01 meno verde |
|          | Valutazione b*(D65) = 2,30 più giallo |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 0,37 |
|-------------|--------------------------|



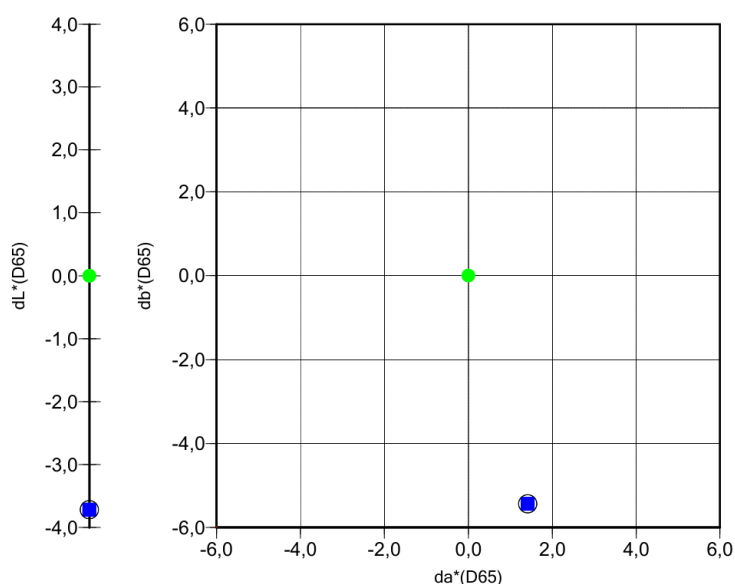
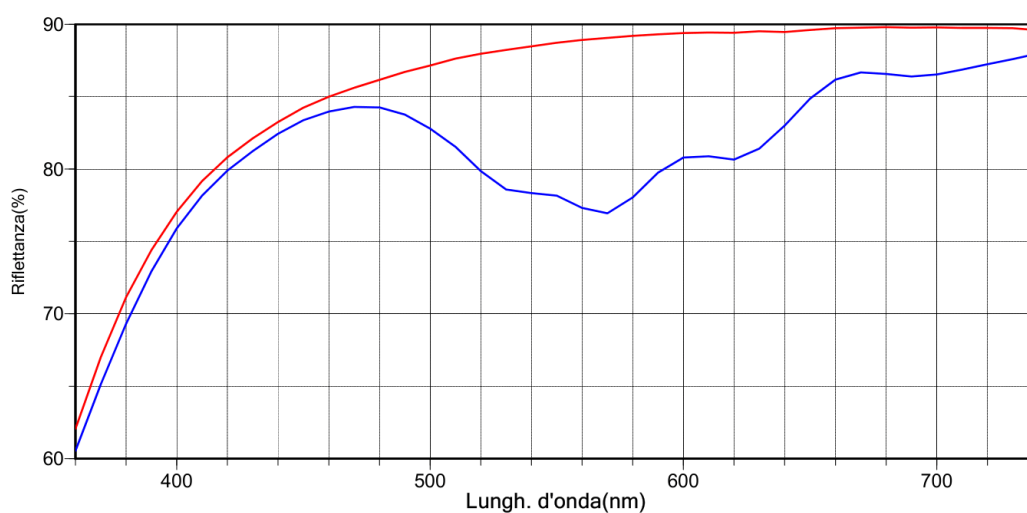
|             |                                        |
|-------------|----------------------------------------|
| Nome target | Supporto + Patina Neutra               |
| Nome sample | Patina con 0.015% Blu + 0.02% Violetto |

| D65              | Target      | Sample |
|------------------|-------------|--------|
| L*(SCI)          | 95,31       | 91,59  |
| a*(SCI)          | -0,45       | 0,96   |
| b*(SCI)          | 3,18        | -2,26  |
| Diff.            |             |        |
| dL*(SCI)         | -3,72       |        |
| da*(SCI)         | 1,42        |        |
| db*(SCI)         | -5,44       |        |
| dC (SCI)         | -0,75       |        |
| dH (SCI)         | -5,57       |        |
| dE*(SCI)         | 6,74        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>7,78</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 73,96  | 90,37  |
| WI Hunter   | 93,24  | 88,70  |
| Br(ISO)2470 | 84,52  | 83,28  |
| Tappi 452   | 84,52  | 83,28  |

|          |                                        |
|----------|----------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 3,72 più scuro       |
|          | Valutazione a*(D65) = 1,42 meno verde  |
|          | Valutazione b*(D65) = 5,44 meno giallo |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 0,63 |
|-------------|--------------------------|



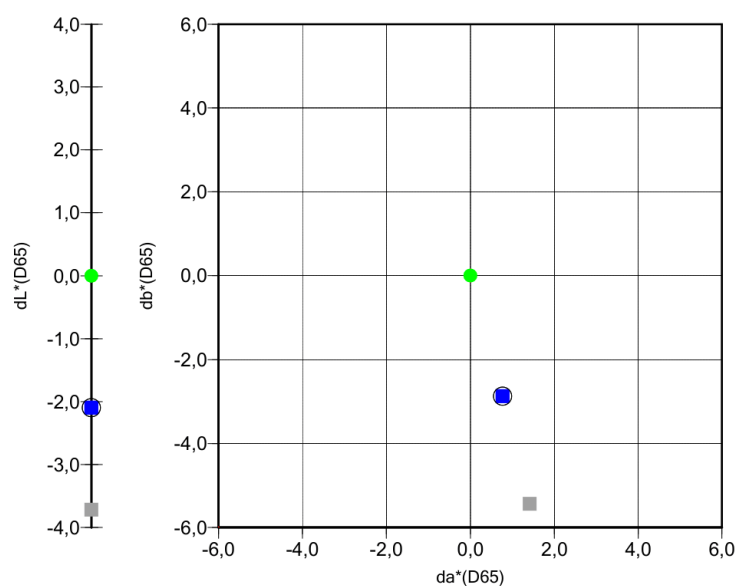
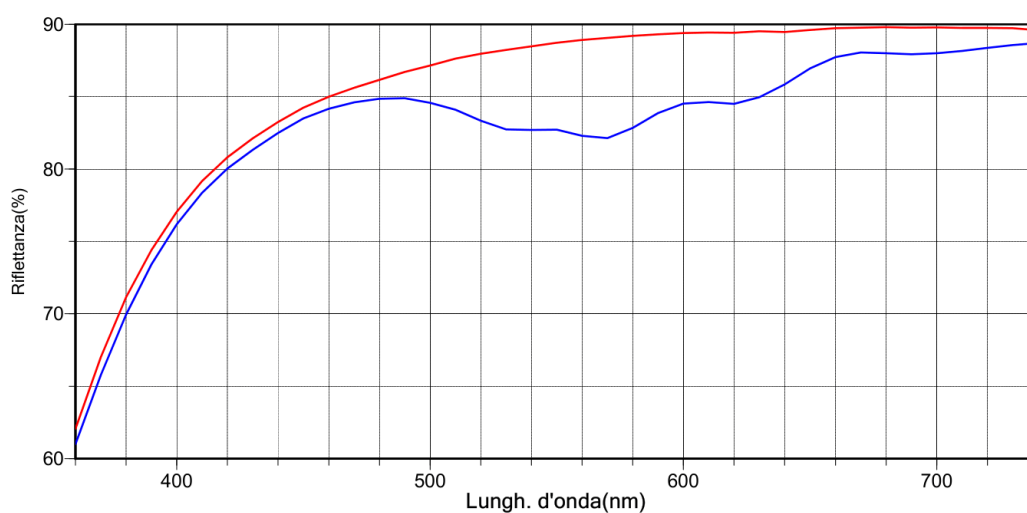
|             |                                         |
|-------------|-----------------------------------------|
| Nome target | Supporto + Patina Neutra                |
| Nome sample | Patina con 0.0075% Blu + 0.01% Violetto |

| D65              | Target      | Sample |
|------------------|-------------|--------|
| L*(SCI)          | 95,31       | 93,22  |
| a*(SCI)          | -0,45       | 0,32   |
| b*(SCI)          | 3,18        | 0,30   |
| Diff.            |             |        |
| dL*(SCI)         | -2,10       |        |
| da*(SCI)         | 0,77        |        |
| db*(SCI)         | -2,88       |        |
| dC (SCI)         | -2,77       |        |
| dH (SCI)         | -1,08       |        |
| dE*(SCI)         | 3,64        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>3,89</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 73,96  | 82,07  |
| WI Hunter   | 93,24  | 91,30  |
| Br(ISO)2470 | 84,52  | 83,56  |
| Tappi 452   | 84,52  | 83,56  |

|          |                                        |
|----------|----------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 2,10 più scuro       |
|          | Valutazione a*(D65) = 0,77 meno verde  |
|          | Valutazione b*(D65) = 2,88 meno giallo |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 0,32 |
|-------------|--------------------------|



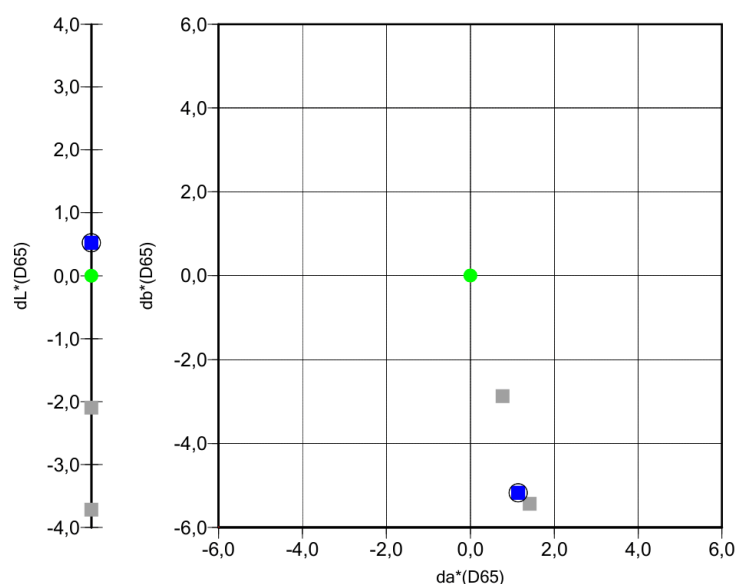
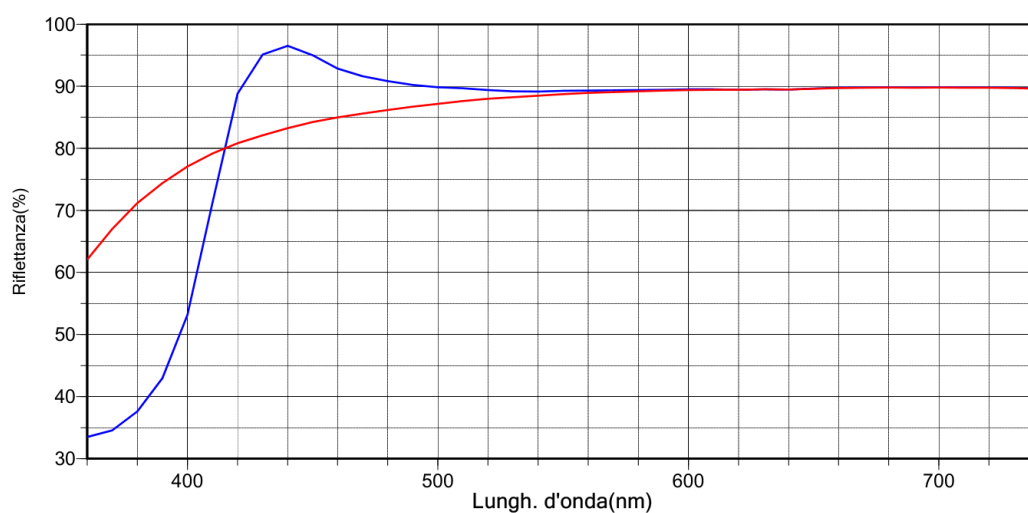
|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Nome target | Supporto + Patina Neutra |
| Nome sample | Patina Neutra + 2% OBA   |

| D65              | Target      | Sample |
|------------------|-------------|--------|
| L*(SCI)          | 95,31       | 95,84  |
| a*(SCI)          | -0,45       | 0,69   |
| b*(SCI)          | 3,18        | -2,00  |
| Diff.            |             |        |
| dL*(SCI)         | 0,52        |        |
| da*(SCI)         | 1,14        |        |
| db*(SCI)         | -5,18       |        |
| dC (SCI)         | -1,10       |        |
| dH (SCI)         | -5,19       |        |
| dE*(SCI)         | 5,33        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>6,92</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 73,96  | 98,60  |
| WI Hunter   | 93,24  | 93,94  |
| Br(ISO)2470 | 84,52  | 92,67  |
| Tappi 452   | 84,52  | 92,68  |

|          |                                        |
|----------|----------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 0,52 più chiaro      |
|          | Valutazione a*(D65) = 1,14 meno verde  |
|          | Valutazione b*(D65) = 5,18 meno giallo |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 1,45 |
|-------------|--------------------------|



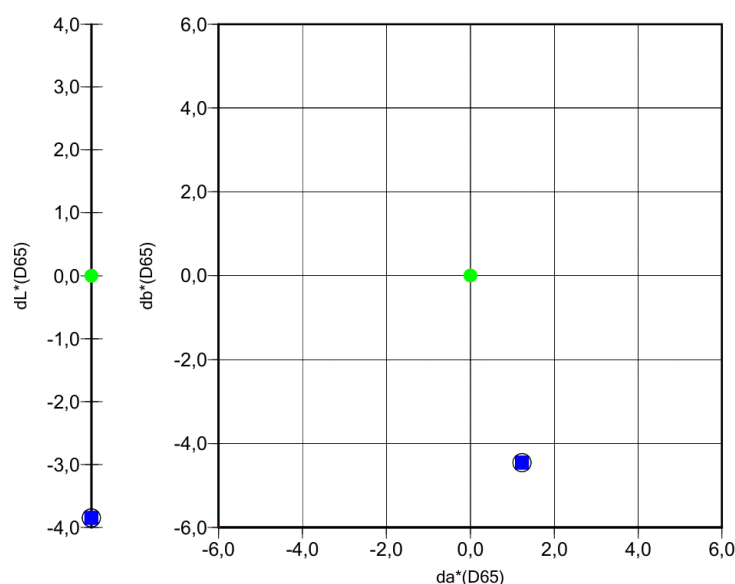
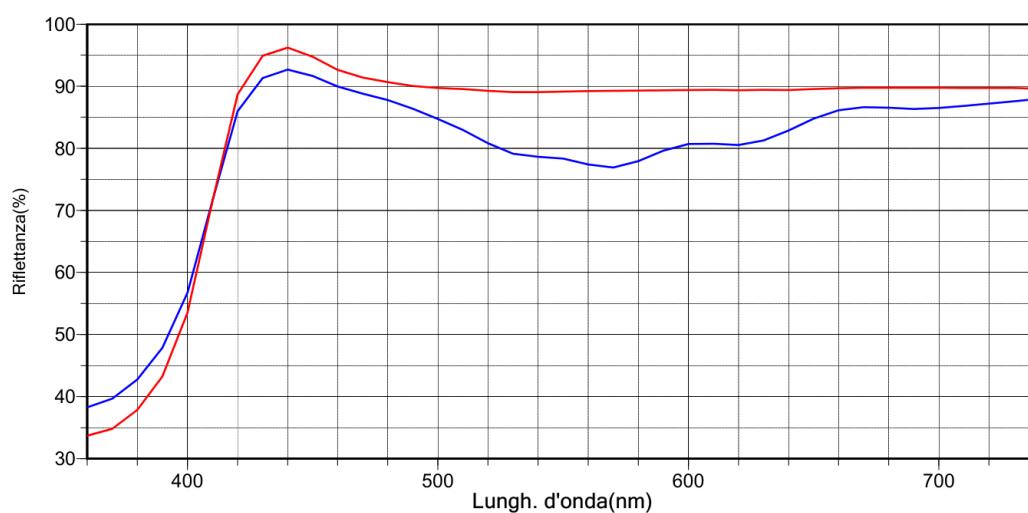
|             |                                                 |
|-------------|-------------------------------------------------|
| Nome target | Supporto + Patina Neutra + 2% OBA               |
| Nome sample | Patina con 0.015% Blu + 0.02% Violetto + 2% OBA |

| D65              | Target      | Sample |
|------------------|-------------|--------|
| L*(SCI)          | 95,79       | 91,94  |
| a*(SCI)          | 0,68        | 1,92   |
| b*(SCI)          | -1,93       | -6,38  |
| Diff.            |             |        |
| dL*(SCI)         | -3,85       |        |
| da*(SCI)         | 1,24        |        |
| db*(SCI)         | -4,46       |        |
| dC (SCI)         | 4,62        |        |
| dH (SCI)         | -0,18       |        |
| dE*(SCI)         | 6,02        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>6,59</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 98,19  | 110,18 |
| WI Hunter   | 93,93  | 86,66  |
| Br(ISO)2470 | 92,46  | 89,51  |
| Tappi 452   | 92,47  | 89,52  |

|          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 3,85 più scuro     |
|          | Valutazione a*(D65) = 1,24 più rosso |
|          | Valutazione b*(D65) = 4,46 più blu   |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 0,43 |
|-------------|--------------------------|



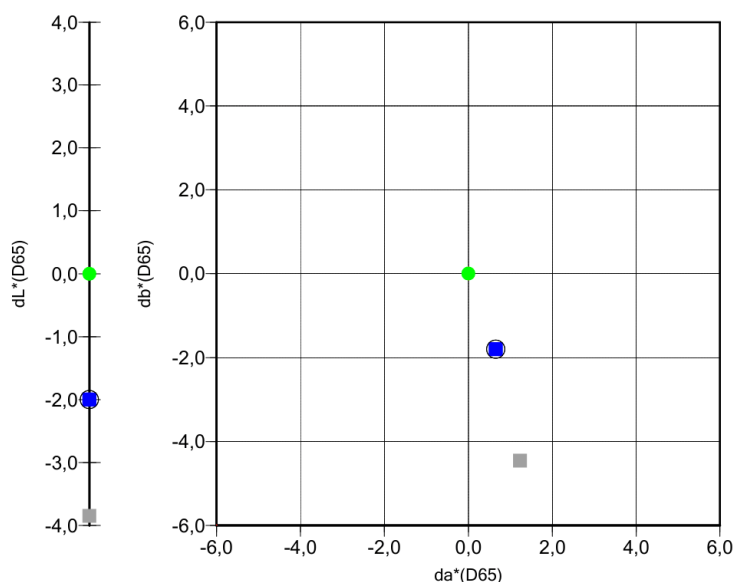
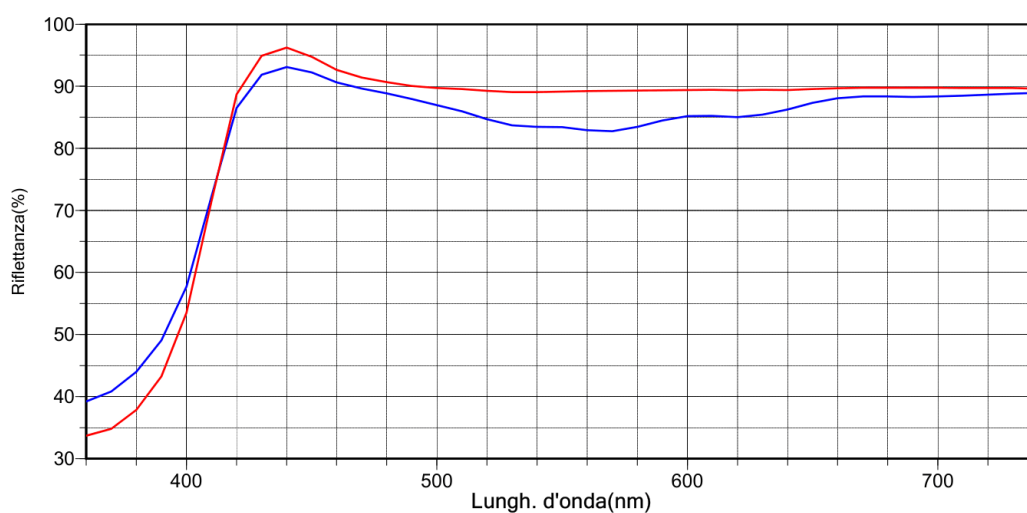
|             |                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------|
| Nome target | Supporto + Patina Neutra + 2% OBA                |
| Nome sample | Patina con 0.0075% Blu + 0.01% Violetto + 2% OBA |

| D65              | Target      | Sample |
|------------------|-------------|--------|
| L*(SCI)          | 95,79       | 93,79  |
| a*(SCI)          | 0,68        | 1,34   |
| b*(SCI)          | -1,93       | -3,73  |
| Diff.            |             |        |
| dL*(SCI)         | -2,00       |        |
| da*(SCI)         | 0,65        |        |
| db*(SCI)         | -1,80       |        |
| dC (SCI)         | 1,92        |        |
| dH (SCI)         | 0,01        |        |
| dE*(SCI)         | 2,77        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>2,86</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 98,19  | 101,85 |
| WI Hunter   | 93,93  | 90,50  |
| Br(ISO)2470 | 92,46  | 90,24  |
| Tappi 452   | 92,47  | 90,25  |

|          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 2,00 più scuro     |
|          | Valutazione a*(D65) = 0,65 più rosso |
|          | Valutazione b*(D65) = 1,80 più blu   |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 0,17 |
|-------------|--------------------------|



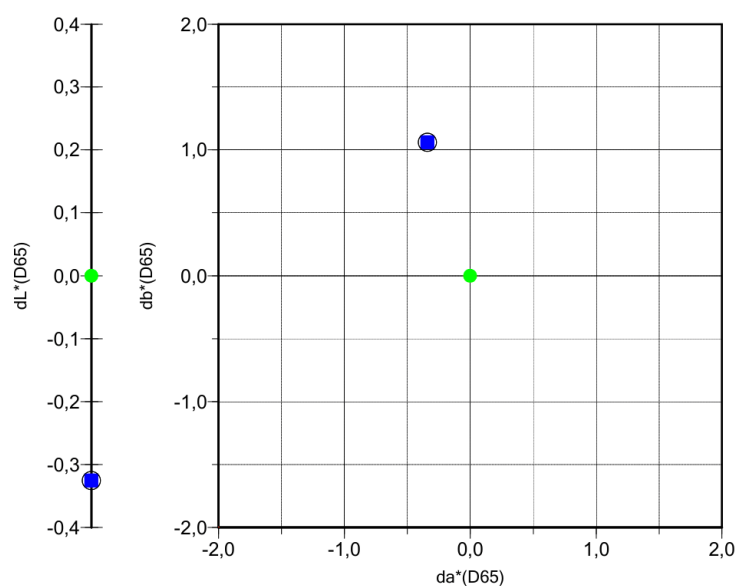
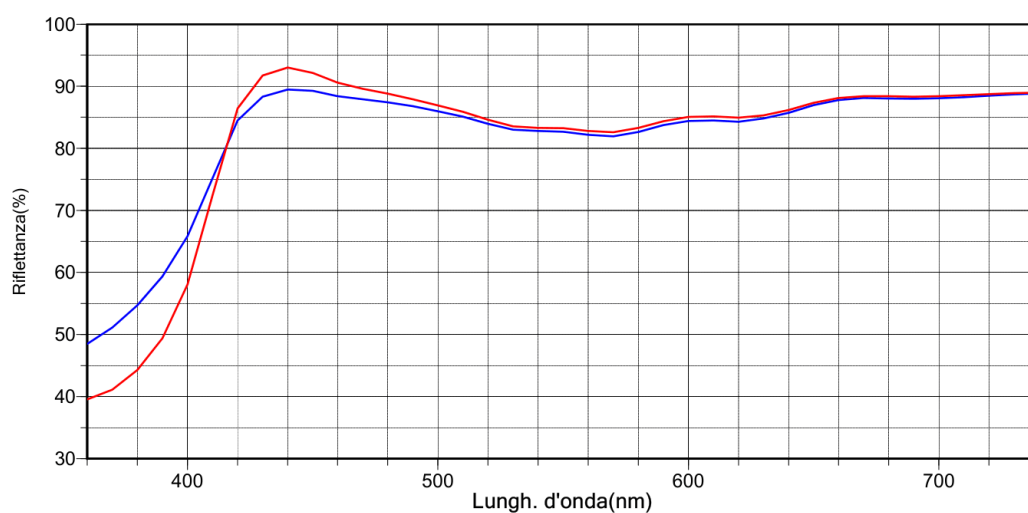
|             |                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------|
| Nome target | Patina con 0.0075% Blu + 0.01% Violetto + 2% OBA |
| Nome sample | Patina con 0.0075% Blu + 0.01% Violetto + 1% OBA |

| D65              | Target      | Sample |
|------------------|-------------|--------|
| L*(SCI)          | 93,74       | 93,42  |
| a*(SCI)          | 1,35        | 1,01   |
| b*(SCI)          | -3,77       | -2,71  |
| Diff.            |             |        |
| dL*(SCI)         | -0,33       |        |
| da*(SCI)         | -0,34       |        |
| db*(SCI)         | 1,06        |        |
| dC (SCI)         | -1,11       |        |
| dH (SCI)         | 0,04        |        |
| dE*(SCI)         | 1,16        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>1,28</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 101,94 | 96,39  |
| WI Hunter   | 90,42  | 90,71  |
| Br(ISO)2470 | 90,19  | 87,97  |
| Tappi 452   | 90,20  | 87,97  |

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 0,33 più scuro      |
|          | Valutazione a*(D65) = 0,34 meno rosso |
|          | Valutazione b*(D65) = 1,06 meno blu   |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 0,35 |
|-------------|--------------------------|



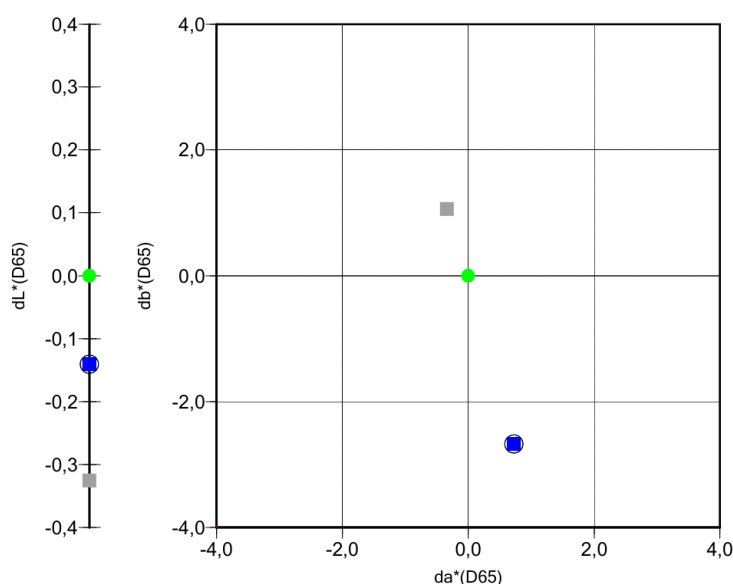
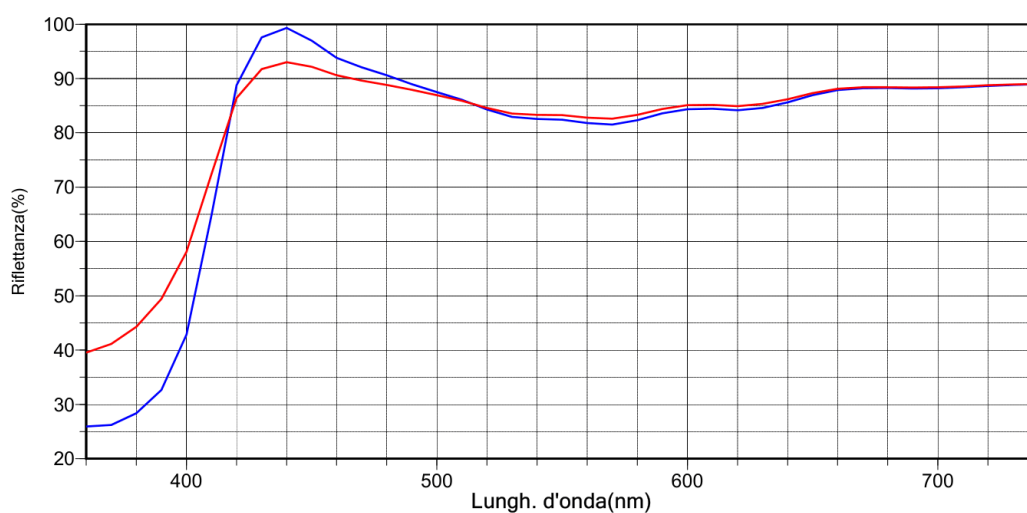
|             |                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------|
| Nome target | Patina con 0.0075% Blu + 0.01% Violetto + 2% OBA |
| Nome sample | Patina con 0.0075% Blu + 0.01% Violetto + 3% OBA |

| D65              | Target      | Sample |
|------------------|-------------|--------|
| L*(SCI)          | 93,74       | 93,60  |
| a*(SCI)          | 1,35        | 2,08   |
| b*(SCI)          | -3,77       | -6,45  |
| Diff.            |             |        |
| dL*(SCI)         | -0,14       |        |
| da*(SCI)         | 0,73        |        |
| db*(SCI)         | -2,68       |        |
| dC (SCI)         | 2,77        |        |
| dH (SCI)         | -0,17       |        |
| dE*(SCI)         | 2,78        |        |
| <b>CMC (2:1)</b> | <b>3,15</b> |        |

| D65         | Target | Sample |
|-------------|--------|--------|
| WI CIE      | 101,94 | 113,80 |
| WI Hunter   | 90,42  | 88,07  |
| Br(ISO)2470 | 90,19  | 93,60  |
| Tappi 452   | 90,20  | 93,61  |

|          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| Giudizio | Luminosità(D65) = 0,14 più scuro     |
|          | Valutazione a*(D65) = 0,73 più rosso |
|          | Valutazione b*(D65) = 2,68 più blu   |

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| Metamerismo | MI(DIN)(D65, F11) = 0,82 |
|-------------|--------------------------|

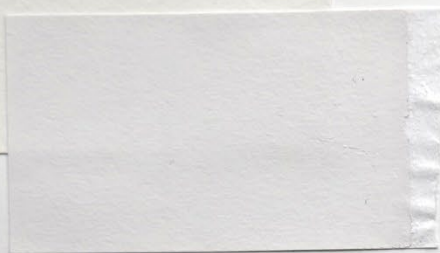


## Allegato C – Campioni cartacei ottenuti dalle prove





0.005% Blue + 0.004% Violetto + 0.5%  
OBA + Patina neutra + 2% OBA



0.005% Blue + 0.004% Violetto + 0.5%  
OBA + Patina 0.0075% Blue + 0.01%



Supporto massa + Patina tal quale

## TINTURA IN PATINA



Patina tal quale

0.015% Blue + 0.02% Violetto

0.0075% Blue + 0.01% Violetto

Patina tal quale + 2% OBA

0.015% Blue + 0.02% Violetto + 2% OBA

0.0075% Blue + 0.01% Violetto + 2% OBA

0.0075% Blue + 0.01% Violetto + 1% OBA

0.0075% Blue + 0.01% Violetto + 3% OBA