

**Il vantaggio di prescrivere coating anti-riflesso su lenti oftalmiche e non**

**Mahmoud Aburish-Himidat**  
*Responsabile Controllo di Qualità*

**I. Premessa**

Vi siete mai chiesti perché uno riesce a vedere (senza toccare) un mezzo trasparente come, ad esempio, una finestra di vetro, una lente vetrosa oppure un oggetto di plastica trasparente tipo polimetilmetacrilato (PMMA)? Ora ripongo diversamente la stessa domanda: vi è mai capitato qualche volta di spingersi contro un pannello o una vetrata di un negozio, banca o altro perché non li avete visti e non vi siete accorti della loro presenza?! La risposta ad ambedue le domande sta nella riflessione della luce. Se non succede nessuna riflessione non possiamo vedere la lente o l'oggetto trasparente, mentre lo vediamo se una parte della luce è riflessa dalla superficie di tale oggetto verso i nostri occhi. Tutto ciò è governato da leggi fondamentali che interpretano il comportamento della luce attraversando i vari mezzi trasparenti. Le analisi matematiche di questo comportamento sono espresse nelle cosiddette formule di Fresnel.

Supponiamo che un raggio di luce in un mezzo trasparente con indice di rifrazione  $n=n_1$  è incidente "abbastanza" perpendicolare sulla faccia di un secondo mezzo trasparente con indice di rifrazione  $n=n_2$ . La frazione della luce riflessa in questo caso, chiamata anche riflettanza ( $R$ ), è data dalla seguente equazione di Fresnel:

$$R = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \% \quad \text{EQ 1}$$

di seguito, la trasmittanza ( $T$ ), si ottiene come:

$$T = (1 - R) \% \quad \text{EQ 2}$$

Gli indici di rifrazione  $n_1$  e  $n_2$  possono essere scambiati senza cambiare il valore della riflettanza. Questo significa che la percentuale della luce riflessa ad un'interfaccia è la stessa a prescindere dal mezzo in cui si trova inizialmente la luce. Ad angoli di incidenza più elevati la formula EQ 1 non è più valida e la riflettanza cresce notevolmente.

Come si nota da EQ 1 la percentuale trasmittanza all'interfaccia fra i due mezzi trasparenti dipende dalla differenza fra gli indici di rifrazione dei due mezzi. Per esempio, all'interfaccia fra i mezzi d'aria ( $n=1,0$ ) e acqua ( $n=1,33$ ) la percentuale è del 2%, mentre questa percentuale sale fino al 17% all'interfaccia fra l'aria e il diamante ( $n=2,4$ ). Nel caso di una lente trasparente la luce intercetta due facce e una parte viene riflessa ad ogni interfaccia. Ignorando l'assorbimento del mezzo (circa 0.5% per cm), possiamo

calcolare la totale percentuale riflessa semplicemente sommando la riflettanza ad ogni faccia. Per un calcolo più semplificato pensiamo alla Figura 1 con  $I_0$  essendo l'intensità incidente sulla prima faccia della lente,  $I_1$  l'intensità restante dopo la rifrazione ed incidente sulla seconda faccia e  $I_2$  l'intensità trasmessa dalla seconda faccia. Ora consideriamo come oggetto una lente CR39 con l'indice di rifrazione  $n_2=1,498$ . Quando la lente è in aria ( $n_1=1,0$ ), da EQ 1, la riflettanza è circa 4% e quindi la trasmittanza secondo EQ 2 è intorno al 96%. Perciò  $I_1 = 0,96 I_0$ .

La trasmittanza alla seconda faccia è ancora 96%. Quindi:

$$I_2 = 0,96 I_1$$

Da tutto ciò ci risulta che:

$$I_2 = (0,96)(0,96)I_0 \cong 0,92 I_0$$



**Figura 1: Riflessione (linea tratteggiata) e rifrazione (linea solida) di un singolo raggio di luce attraverso una lente trasparente.**

Come si può osservare dall'esempio precedente, la trasmittanza totale è circa 92%, o meglio quasi 8% della luce si perde a causa della riflessione dalle facce della lente (in questo caso la CR39). È importante sapere che questa perdita cresce con il crescere dell'indice di rifrazione del materiale come è illustrato in Tabella 1.

Materiale	Indice di rifrazione	Riflettanza per faccia [%]	Trasmittanza Totale [%]	Perdita [%]
CR39	1,498	3,9	92,4	7,6
Vetro BK7	1,523	4,3	91,6	8,4
Bicarbonato	1,600	5,3	89,6	10,4
Vetro	1,701	6,7	87,0	13,0
Resina	1,740	7,3	85,9	14,1
Alto indice	1,802	8,2	84,3	15,7
Alto indice	1,900	9,6	81,7	18,3

**Tabella 1: Alcuni esempi di lenti costruite da materiali diversi o le relative perdite di luce causate dalla riflessione alle loro facce.**



**SCIENTIFIC MATERIALS EUROPE**  
*synthetic crystals and precision optics*

**FILAR S.r.l.**



frazione [4] con Intensità  $R_{23}$  è riflessa all'indietro verso il punto C e il resto [5] attraversa la lente verso la sua seconda faccia, e così via.

Per avere la massima efficacia del coating AR bisogna che le frazioni di luce riflessa  $R_{12}$  e  $R_{23}$  siano di pari ampiezze e fuori fase di  $180^\circ$  una dall'altra. In tal caso si ottiene un'interferenza distruttiva fra le due onde che rappresentano i fasci riflessi, in questo caso [2] e [7], cancellando così la luce riflessa. In realtà l'energia contenuta in questi due fasci non è persa, ma è ricondotta nella parte trasmessa dell'onda dove si ottiene interferenza costruttiva fra i fasci trasmessi [5] e [9].

Per ridurre a zero le riflessioni a una certa lunghezza d'onda, il thinfilm deve soddisfare determinate condizioni fisiche e ottiche. Queste condizioni sono note come le condizioni di "cammino" e di "ampiezza". La condizione di cammino definisce lo spessore ottico ( $t$ ) dello strato sottile e, per ottenere l'effetto desiderato di annullamento della luce riflessa, lo spessore deve essere proporzionale a un numero dispari moltiplicato per quarto della lunghezza d'onda, ossia:

$$t = i \frac{\lambda}{4} \quad \text{EQ 3}$$

dove  $i = 1, 3, 5, \dots$

La condizione di ampiezza invece richiede che le ampiezze delle due onde riflesse siano pari. Questo si ottiene controllando l'indice di rifrazione del thinfilm. In fatti, per avere riflessione che tende a zero ( $R \rightarrow 0$ ) possiamo calcolare l'indice di rifrazione  $n_2$  dalla equazione EQ 1 come:

$$n_2 = \sqrt{n_1 n_3} \quad \text{EQ 4}$$

Quindi, la condizione di ampiezza si soddisfa semplicemente quando l'indice di rifrazione del thinfilm è pari alla radice quadrata di quello del substrato. Ad esempio, con le lenti di indice  $n_3 = 1,5$  e  $1,9$  abbiamo bisogno rispettivamente di film sottili degli indici  $n_2 = \sqrt{1,5} \approx 1,23$  e  $n_2 = \sqrt{1,9} \approx 1,38$ . Nella

natura comunque non esiste un materiale solido con indice di rifrazione più basso di 1,38 (fluoruro di magnesio  $MgF_2$  @  $\lambda = 550nm$ ). Perciò, risulta impossibile ridurre del tutto a zero la riflettanza per tutte le lenti con indici di rifrazione meno di 1,9. Resta comunque possibile minimizzare di molto tale riflettanza con l'ausilio di coating AR basato su multistrati.

**III. Il Caso Pratico**

Come abbiamo potuto notare, lo studio fisico-matematico di un unico film sottile può spiegare in modo ideale il fondamentale comportamento del coating AR trattando un caso molto specifico di luce monocromatica, indici di rifrazioni costanti e fasci di luce ad inclinazioni ridotte, ma sappiamo bene che il mondo reale è più complesso e richiede maggiore attenzione quando si vuole ottenere un coating migliore. Non vorrei più stressarvi con formule, calcoli e disegni per poi negare loro la funzionalità, ma questa volta proporrei di analizzare un caso pratico, specifico o ben noto a molti: optometristi, ottici ed oculisti. È il caso dell'anti-riflesso nella zona visibile dello spettro. Questa è una banda che copre oltre 370nm e si estende fra le lunghezze d'onda 390-760nm, Figura 5.

Per prima cosa è impossibile produrre un AR che soddisfi entrambe le condizioni di cammino o ampiezza (i.e. zero riflessione) lungo l'intero intervallo del visibile. In questo caso è necessario l'impiego di multistrati di film sottili con diversi indici di rifrazione che si applicano su entrambi i lati della lente per abbassare il riflesso in un intervallo così largo. Il numero di strati e i loro indici determinano la percentuale di intensità riflessa ad ogni singola lunghezza d'onda nell'intervallo o la tinta riflessa che permette di valutare il colore residuo sulla lente. Per esempio, quando il coating AR è ottimizzato per tutto l'intervallo visibile, i riflessi dalle estremità dello spettro con colori rosso e viola mescolati per dare alla lente un'apparenza rosata!

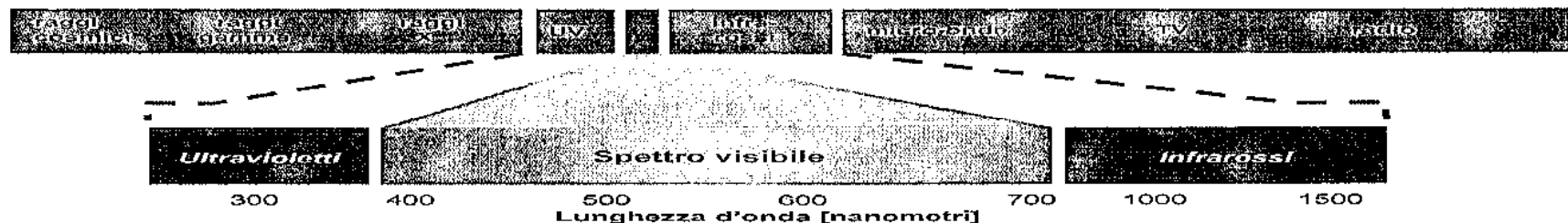


Figura 5: Parte del visibile nello spettro elettromagnetico

**SCIENTIFIC MATERIALS EUROPE**  
S.r.l.  
*synthetic crystals and precision optics*

**FILAR S.r.l.**

ISO 9001-2000 Reg. No. 02078  
ISO 14001-1995 Reg. No. 02790

OPTYMUS  
ASSOCIAZIONE INTERNAZIONALE  
ORGANISMO DI ACCREDITAMENTO

**VERITAS**  
ACCREDITAMENTO ORGANISMI DI CERTIFICAZIONE  
ADESIONE A MARCHE E LOGO  
FEDERAZIONE FIODA  
FEDERAZIONE ITALIANA  
ORGANISMO DI ACCREDITAMENTO

Consideriamo di nuovo il caso di coating AR su una lente CR39. Figura 6 rappresenta la riflettanza in funzione della lunghezza d'onda per dei trattamenti reali di coating AR con singolo strato, 4 strati e 7 strati in confronto a nessun trattamento. È facile osservare dalla Figura come cambiano le proprietà sia della riflettanza sia del colore residuo con i vari numeri di strati utilizzati. La gestione vera e propria di questi caratteristiche avviene tramite l'utilizzo di un software particolare nel quale si introducono tutti i dati possibili appartenenti ai materiali coinvolti nelle diverse fasi del processo coating.

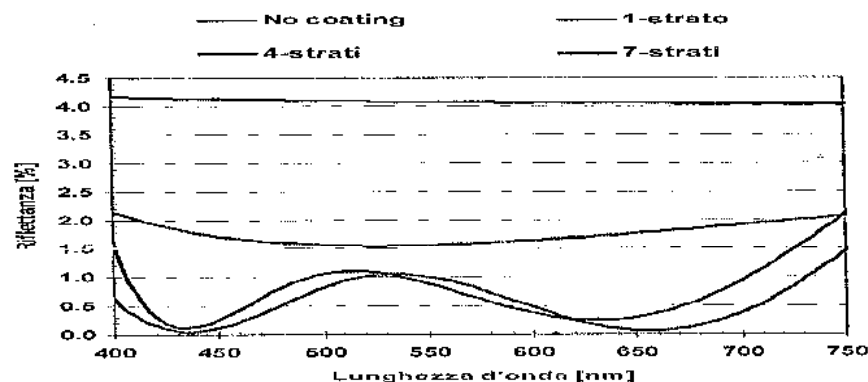


Figura 6: Riflettanza in funzione di  $\lambda$  per lenti CR39 senza coating e con coating AR a multistrati.

Il coating AR su lenti plastiche e organiche per avere ottima qualità deve avere una forte aderenza su una base rigida. In questo caso il trattamento con indurenti (hard coating) offre migliore adesione del coating AR e garantisce robustezza duratura contro crepe e variazioni termiche. Inoltre, il coating AR stesso deve essere facile da pulire e deve resistere ai graffi e a questo scopo di solito si applica un strato extra di coating anti-imbrattante che rende la lente anche repellente di olio e acqua. Questo strato extra ha un spessore di alcuni nanometri e non implica nessun effetto sulle prestazioni del coating AR.

È ben noto per chi lavora nel campo dell'ottalmica che il successo del coating dipende dal fatto che tutti questi trattamenti siano eseguiti all'interno della stessa azienda. Una realtà che può sembrare assurda, ma è decisamente necessario

conoscere bene il materiale della lente per trattare col hard giusto e poi è fondamentale conoscere tutte le proprietà fisiche, chimiche ed ottiche del hard stesso per ottimizzare al meglio il coating AR.

#### IV. Conclusioni

Da tutto ciò che abbiamo osservato ci risulta indispensabile la prescrizione di coating AR da parte degli ottici. Non solo, ma questo deve essere accompagnato anche da una spiegazione dettagliata al paziente sui privilegi di tale coating. In fatti, molti sondaggi riportano che i pazienti che indossano lenti trattate con coating AR vedono con più chiarezza e dettagli e l'ambiente appare a loro più illuminato. I pazienti indossatori di lenti ad alto indice perdono una notevole quantità di luce a causa della riflessione e per loro la guida notturna può risultare problematica. Abbiamo notato che più alto è l'indice di rifrazione più necessario ma anche più benefico è il coating AR. I pazienti che attualmente indossano lenti fotocromatiche e accusando disturbi durante la guida notturna persino loro possono essere aiutati con l'applicazione di coating AR sulle loro lenti.

Spesso il lamento comune di tutti i pazienti è la difficoltà di mantenere pulite le lenti trattate con coating AR. La causa di questo è che, per la ridotta riflettività dopo il coating, le lenti diventano più trasparenti e di conseguenza polvere e particelleunte sono maggiormente visibili. Come già enunciato prima, l'applicazione di strati anti-imbrattanti riducono l'aderenza di polvere e particelle sulle lenti e le rendono più facile da pulire.

In fine, tenere i pazienti informati sull'esigenza del coating AR e fornirli mezzi e metodi corretti per difenderlo è importante quanto i consigli forniti per mantenere la buona vista.

#### V. L'impegno della FILAR

FILAR (Fabbrica Italiana di Lente Arbatax) è un'azienda operante nel campo dell'ottalmica e dell'ottica di precisione incorporata in Scimex S.r.l. Gli obiettivi strategici delle Aziende Scimex e FILAR sono:

- Mantenersi Aziende leader nel campo dell'ottica e del laser in mercato locale, europeo e globale attraverso la buona qualità, la gestione moderna e l'innovazione;
- Rafforzare i legami tra scienza, università, industria e politiche finanziarie (pubbliche e private) mediante i canali di collaborazione e ricerca e sviluppo;
- Trasferire la conoscenza maturata in ottica fine per l'alta tecnologia di laser a stato solido alla tecnologia oftalmica con l'intenzione di dare all'ottico cliente la stessa assistenza, precisione e affidabilità che necessita l'ottica spaziale.