



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI FISICA E ASTRONOMIA

CORSO DI LAUREA IN OTTICA E OPTOMETRIA

TESI DI LAUREA

RADIAZIONI ULTRAVIOLETTE E INFRAROSSE:

**EFFETTI SUI TESSUTI OCULARI E ANALISI DELLA TRASMITTANZA DI FILTRI
E OCCHIALI IN COMMERCIO**

LAUREANDO: DAVIDE BIGARELLA

RELATORE: Dr. Anto Rossetti

CORRELATRICE: Dr.ssa Vania Da Deppo

ANNO ACCADEMICO: 2015/2016

Indice

<u>Parte 1</u> : Introduzione.....	1
1.1 Analisi Radiazioni.....	2
1.2 Radiazioni Ultraviolette	
Classificazione.....	3
Effetti sui tessuti oculari.....	4
1.3 Radiazioni Infrarosse	
Classificazione.....	7
Effetti sui tessuti oculari.....	8
1.4 Filtro ideale.....	10
<u>Parte 2</u> : Analisi Filtri in commercio	
2.1 Schema di analisi dei filtri e criteri utilizzati.....	12
2.2 Spettrofotometro: Struttura e Funzionamento.....	13
2.3 Norma tecnica ISO EN 12312-1.....	16
2.4 Analisi Filtri	
Filtri in Vetro.....	27
Filtri in Cr39.....	32
Filtri in Policarbonato.....	39
2.5 Riepilogo Filtri.....	53
<u>Parte 3</u> : Conclusioni e Bibliografia	
3.1 Conclusioni.....	64
3.2 Bibliografia.....	66

Introduzione

Lo scopo di questa tesi è duplice:

- trattare gli effetti che provocano all'occhio umano i raggi ultravioletti e infrarossi presenti nella radiazione solare
- valutare un ampio campione di filtri protettivi o da sole (ottenuti dal canale distributivo di ottica in Italia, dotati di marcatura CE e regolare immissione in commercio) di diversa colorazione e diverso materiale per valutare se tali filtri rispettino le norme tecniche – nei parametri obbligatori e in quelli consigliati - relative alla trasmittanza della radiazione visibile e all'assorbimento dei raggi UV e IR.

Tale studio trae spunto dalla nuova normativa ISO EN 12312-1 relativa agli standard internazionali per la realizzazione di filtri protettivi, che aggiorna quella in vigore (per il resto simili) con parametri riguardanti l'assorbimento dei raggi infrarossi, che si vanno ad aggiungere a quelle già da tempo presenti relative all'assorbimento dei raggi UV.

Lo studio è stata realizzato adoperando filtri di varie colorazioni (genericamente verde, marrone e grigio, le più utilizzate nell'ambito oftalmico) e di tre differenti materiali (ovvero vetro, policarbonato e CR39).

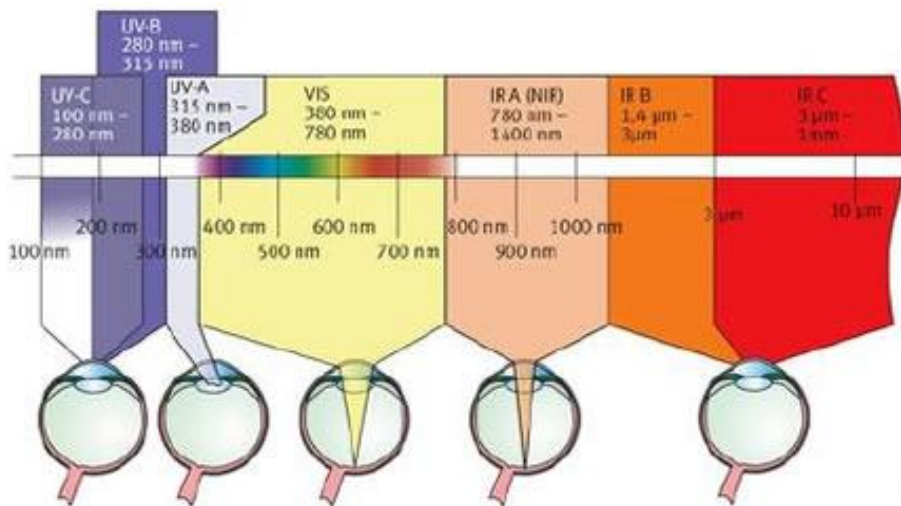
Per ciascun filtro è stata ricavata la trasmittanza utilizzando uno spettrofotometro Cary 5 Uv-Vis-Nir della ditta Varian tarato per analizzare un range spettrale che parte dall'UVB sino all'IRA.

I risultati ottenuti hanno evidenziato come i filtri in vetro del campione casuale scelta siano migliori sotto vari fattori, in particolar modo riguardo l'assorbimento degli infrarossi, che invece si dimostra ancora carente per quanto riguarda gran parte dei filtri in CR39 e in policarbonato.

Come prevedibile, la quasi totalità dei filtri, di ciascuna tipologia e di materiale, rispetta le normative riguardo la trasmittanza del visibile e l'assorbimento degli UV (requisiti obbligatori secondo normativa e secondo legge che in quella normativa tecnica trova riferimento), tranne qualche caso particolare.

ANALISI RADIAZIONI ULTRAVIOLETTE E INFRAROSSE E LORO EFFETTI SUI TESSUTI OCULARI

In questa parte della tesi analizzeremo la natura della radiazioni UV e IR, descrivendone l'origine e la relativa classificazione. Ci soffermeremo in particolare sugli effetti che tali radiazioni hanno sui tessuti oculari, la cui nocività rende di fondamentale importanza l'uso di un adeguata protezione durante l'esposizione a queste radiazioni.



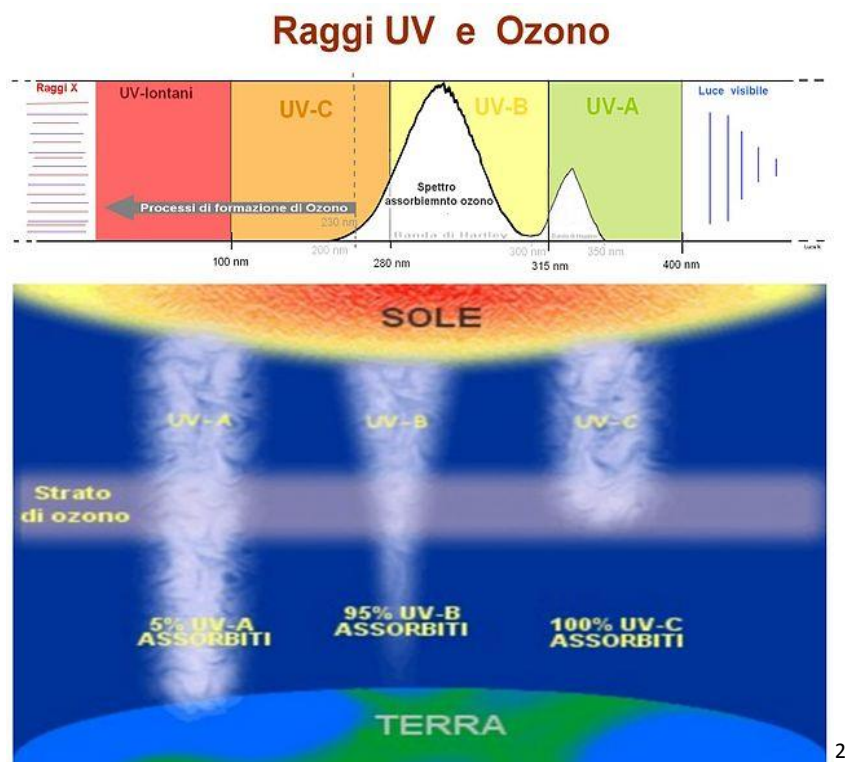
¹ Immagine ricavata da <http://www.amedeolucente.it/raggi-solari.asp>. La suddivisione cromatica tra le varie parti dello spettro in UV e IR ha un valore puramente esemplificativo poiché tali radiazioni essendo invisibili non appaiono colorate all'occhio umano

1) I Raggi Ultravioletti

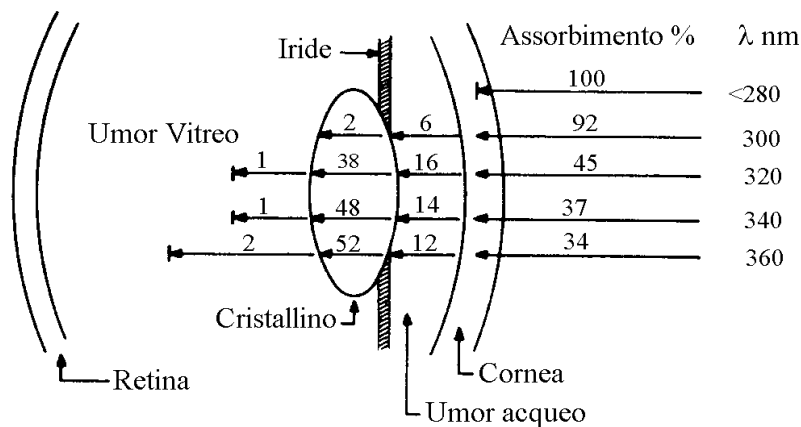
Sono una tipologia di raggi appartenenti alla radiazione elettromagnetica e si posizionano immediatamente prima della cosiddetta *radiazione visibile* dall'occhio umano. Vengono emessi da numerose fonti naturali, tra le quali la più importante è il Sole. Analizzando gli UV in rapporto all'occhio umano e agli effetti sulla sua salute essi si possono suddividere in tre categorie (secondo lo standard ISO 21348):

- a) **UVA**: il cui intervallo spettrale va dai 315 ai 380 nanometri
- b) **UVB**: il cui intervallo spettrale va dai 280 ai 315 nanometri
- c) **UVC**: il cui intervallo spettrale va dai 200 ai 280 nanometri

Di queste tre categorie la più conosciuta e la più dannosa per i tessuti oculari è l'UVA. Il motivo è ben evidenziato dalle seguenti immagini:



² Immagine ricavata da <http://it.wikipedia.org/wiki/Ozonosfera>



3

L'UVC viene completamente assorbito dallo strato di ozono presente nell'atmosfera terrestre

L'UVB viene quasi completamente assorbito dall'ozono: il restante 5% è poi in gran parte assorbito dalla cornea e in misura minore dal cristallino. In ogni caso gli UVB non riescono a raggiungere la retina⁴

L'UVA viene assorbito solamente per il 5% dall'ozono, perciò la quasi totalità di tali raggi raggiunge la superficie terrestre. A livello oculare gli UVA vengono quasi interamente assorbiti dalla cornea e dal cristallino, ma nonostante questo una percentuale residuale tra l'1 e il 2% riesce a raggiungere la retina. Tutto questo rende gli UVA di gran lunga i più pericolosi per la salute dell'occhio umano

I danni che provocano gli UV sono di varia natura ma la loro gravità dipende molto dalla quantità e dalla durata dell'esposizione dell'occhio a tali raggi. Ecco di seguito un breve elenco:

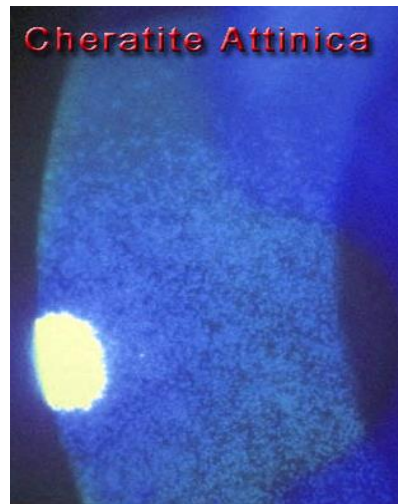
a) **Danni a Cornea e Congiuntiva**

Un'eccessiva esposizione ai raggi UV può provocare l'insorgenza di cheratocongiuntiviti di tipo *attinico*. Una delle più comuni e più frequenti è la cosiddetta "*ustione del saldatore*" o anche "*cecità da neve*", che si verifica quando la cornea e la congiuntiva subiscono una forte irradiazione di UV tra i 210 e i 320 nm: l'infiammazione che ne deriva comporta aumento della

³ Immagine ricavata da www.jnvisioncare.it/sites/default/files/public/it/documents/walsh_uv.pdf

⁴ Dati ricavati dallo studio di Karen Walsh "La radiazione ultravioletta e l'occhio" pubblicato su *Optician* n.6204 vol.237 del 29/05/2009

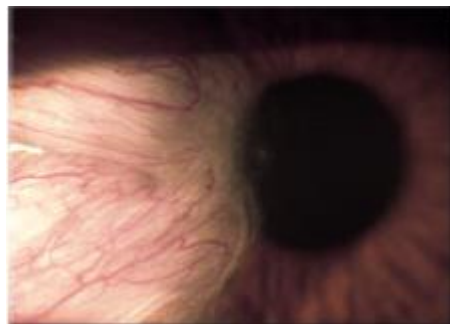
lacrimazione, prurito, arrossamento, fotofobia, dolore, difficoltà ad aprire gli occhi. Tali sintomi solitamente spariscono da un minimo di 6 ad un massimo di 48 ore, e i tessuti coinvolti tornano alla normalità; solo nei casi più gravi il danno può essere permanente.



5

Altri effetti indesiderati relazionati ad un'esposizione cronica agli UV sono:

lo *pterygio* (la crescita di un tessuto che partendo dalla sclera finisce per invadere la cornea)

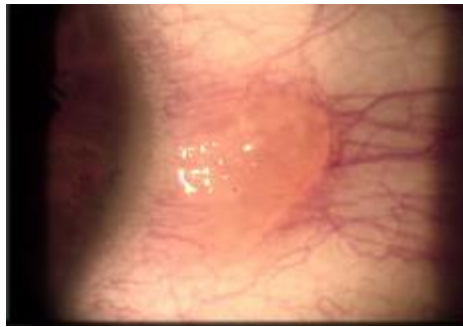


6

⁵ Immagine ricavata dal sito www.carlobenedetti.it/occhio-sole/

⁶ Immagine ricavata dal sito www.carlobenedetti.it/occhio-sole/

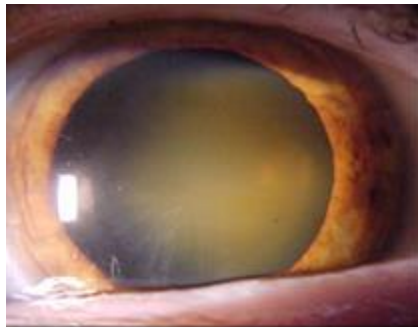
La *pinguecola* (l'ispessimento giallognolo della congiuntiva, solitamente presso il lato nasale della cornea)



7

b) **Danni al Cristallino**

Un'esposizione costante nel tempo anche di discrete quantità di raggi UV di alta intensità, tipico di chi vive ad alte altitudini o nelle zone tropicali, provoca un'insorgenza precoce della *cataratta* (ovvero l'opacizzazione del cristallino); si calcola che le persone che vivono in aree con esposizione solare media di 12 ore giornaliere hanno una probabilità 4 volte superiore di insorgenza di cataratta rispetto a chi vive in aree con una media di esposizione di 7 ore.



8

c) **Danni alla Retina**

Nei casi di persone *afachiche* le problematiche aumentano notevolmente, perché la mancanza del cristallino permette ad una maggior quantità di UVB e UVA di raggiungere la retina; l'eccessiva quantità di radiazione che la retina assorbe porta il

⁷ Immagine ricavata dal sito www.carlobenedetti.it/occhio-sole/

⁸ Immagine ricavata dal sito www.carlobenedetti.it/occhio-sole/

tessuto a reagire e si verifica il cosiddetto effetto del “*bagliore velato*”, il quale altera la percezione corretta dell’immagine.⁹ Ma non è l’effetto più indesiderato. Col tempo si assiste ad una degenerazione del tessuto retinico, in particolar modo nell’area maculare, definita *degenerazione maculare* o *maculopatia senile*.



2) I Raggi Infrarossi

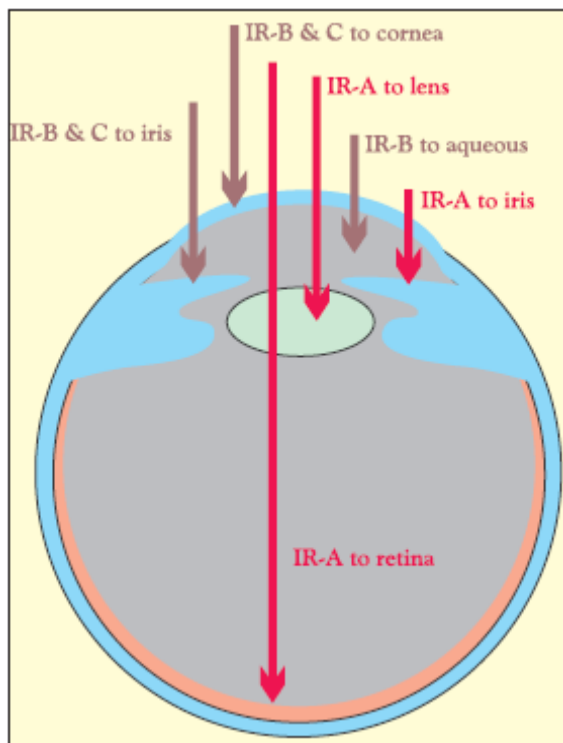
Sono un tipo di raggi appartenenti alla radiazione elettromagnetica e si posizionano subito dopo la *radiazione visibile* dall’occhio. Vengono emessi dal Sole ma anche da fonti in ambito industriale, come per esempio le acciaierie e le fornaci, e dai laser. Il loro intervallo spettrale va indicativamente dai 780 ai 10000 nanometri e possono essere suddivisi in tre categorie:

- a) **IRA**: Detto anche Infrarosso Vicino o prossimo, ha un range spettrale che va dai 780 ai 1400 nanometri
- b) **IRB**: Ha un range spettrale che va dai 1400 ai 3000 nanometri
- c) **IRC**: Detto anche Infrarosso Lontano, ha un range spettrale che va dai 3000 ai 10000 nanometri. I raggi di questa categoria emessi dal Sole di solito vengono completamente assorbiti dall’atmosfera non raggiungendo il suolo; rimangono però quelli emessi da fonti non naturali come pericolo per la salute dell’occhio.

⁹ System for Ophthalmic Dispensing cap.22 pag.527-528 “Ocular Damage caused by Ultraviolet Radiation”

¹⁰ Immagine ricavata dal sito www.carlobenedetti.it/occhio-sole/

L'immagine sottostante esemplifica come le varie categorie di Infrarosso vengano assorbite dai tessuti oculari



Come si può notare gli IRC e gli IRB vengono assorbiti dagli strati più esterni dell'occhio e al massimo raggiungono l'iride, evitando di arrivare alla retina.

Invece gli IRA non riescono a venire completamente assorbiti dal cristallino e dall'iride, cosicché una percentuale residua raggiunge il fondo oculare, rendendo di conseguenza questa categoria di IR la più pericolosa per l'occhio.

I danni provocati dagli Infrarossi coinvolgono varie parti del sistema oculare. Possono essere così suddivisi:

a) **Danni alle Palpebre**

Si va da un medio arrossamento fino ad un'ustione anche di terzo grado, ed eventualmente anche alla morte della pelle stessa

b) **Danni alla Cornea**

Questo strato tende ad avere un assorbimento particolarmente elevato di IRB e di IRC, mentre solo il 4% degli IRA è assorbito; poiché la quantità di energia che trasportano gli IRB e IRC è relativamente bassa, la cornea è piuttosto protetta dai danni causati

dagli infrarossi. E' necessaria un'esposizione ad alte dosi radianti per provocare lesioni, le quali comportano forte *dolore* e *vascolarizzazione*, dalle quali conseguono *opacizzazioni* o anche *ustioni* che portano alla formazione di *ulcere*. Si pensa che a soffrire di maggiori danni sia l'endotelio, perché l'effetto termico dei raggi è meno dissipato rispetto agli strati più esterni della cornea.

c) **Danni all'Iride**

Questo strato assorbe dal 53 al 98% di una parte degli IRA (tra i 750 e i 900 nm) ma poiché l'assorbimento non è regolare si riconoscono vari gradi ed estensioni dei danni causati. Tra di essi vi sono il *gonfiore*, l'*iperemia*, la *morte cellulare* e la *miosi pupillare*. Di particolare interesse i danni provocati dagli IRA attorno ai 900 nm: si viene a creare del *chiarore* nell'umor acqueo associato alla perdita di proteine dai vasi iridei all'interno della camera anteriore (come conseguenza dell'infiammazione dell'iride)

d) **Danni al Cristallino**

Una continua esposizione agli IRA (che vengono parzialmente assorbiti dal cristallino) favorisce una precoce insorgenza di cataratte. In particolari categorie lavorative, come i soffiatori del vetro o i lavoratori nelle fornaci, in passato veniva riscontrata frequentemente una tipica *opacità corticale posteriore*, ritenuta indotta dagli infrarossi emessi a causa delle alte temperature del luogo di lavoro.¹¹

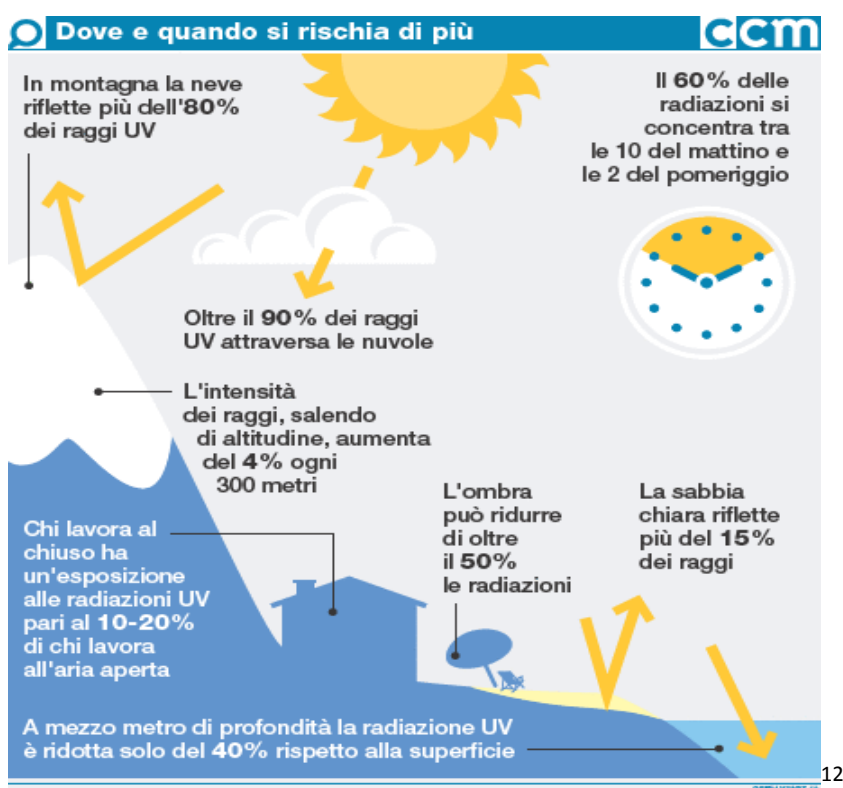
e) **Danni alla Retina**

Gli Infrarossi che raggiungono il fondo oculare vengono assorbiti dall'epitelio pigmentato della retina; il riscaldamento termico che ne deriva porta a lesioni degli strati neurali. A seconda dell'intensità e soprattutto della durata dell'esposizione si possono riscontrare *edema*, *ustioni* e *depigmentazioni*.

¹¹ Voke J. Radiation Effects on the Eye, Part 1 . Optometry Today, 30 Luglio 1999.

Filtro da sole ideale

Definire un filtro da sole “ideale” in senso assoluto non sarebbe tecnicamente corretto, poiché una corretta protezione dalla radiazione solare varia a seconda della situazione in cui si trova il soggetto osservante. L’ambiente in cui ci si trova (pianura, mare o montagna) come pure l’altitudine influiscono eccome sulla quantità di luce che giunge agli occhi e su quanto essa possa essere dannosa per la loro salute. E’ noto a tutti che in alta montagna e soprattutto nelle zone innevate sia consigliata la più alta categoria protettiva, ovvero la numero 4, causa l’elevata riflessione della superficie nevosa, come esemplificato nell’immagine sottostante.



Tale categoria viene però definita “non idonea” alla guida, e diventa quindi non compatibile con un uso generico che si fa quotidianamente degli occhiali da sole. Va inoltre ricordato che nel caso di soggetti ametropi anche la scelta cromatica dei filtri ha la sua importanza, per esempio delle lenti di colore marrone saranno meglio tollerate da un soggetto miope rispetto ad uno ipermetrope. Ecco che quindi generalmente un filtro da sole “ideale” per prima cosa deve assolutamente presentare un adeguato assorbimento dei raggi UVB e UVA, che risultano essere i più dannosi per la salute oculare (rimandiamo alla parte successiva della tesi l’elenco degli

¹² Immagine ricavata dal sito www.ccm-network.it

esatti parametri da rispettare per una corretta protezione da tali radiazioni). Pur essendo meno pericolosi anche gli IR possono influire sulla salute degli occhi, ed è per questo che un adeguato assorbimento di tali raggi non può che migliorare la resa protettiva del filtro stesso. Un altro aspetto molto importante da considerare è la provenienza dei raggi luminosi, che non arrivano solo frontalmente ma anche posteriormente; tali raggi vengono poi riflessi dalla superficie interna della lente verso gli occhi, con gli inevitabili fastidi che ne conseguono. Per ovviare a tale problema è consigliabile la realizzazione di filtri dotati di trattamento antiriflesso non solo sulla superficie esterna ma anche su quella interna, in maniera da ridurre notevolmente la percentuale di raggi riflessi, come si può notare nell'immagine qui di seguito



Riassumendo l'uso di filtri da sole pienamente rispettosi delle normative e adeguati all'ambiente e alle circostanze in cui si trova il portatore permette non solo di evitare patologie molto fastidiose ma solitamente di breve durata come le *fotocheratiti*, ma soprattutto può evitare l'insorgenza più o meno precoce di patologie come la *cataratta* o la *degenerazione maculare senile* che risultano essere molto più invalidanti nel medio-lungo periodo, e nel caso della DMS di più complessa e difficile risoluzione.

PARTE SECONDA: ANALISI FILTRI IN COMMERCIO

In questa parte della tesi si è scelto di analizzare un campione di 22 filtri da sole neutri in modo da creare una piccola statistica per valutare se tali filtri vengano realizzati seguendo le norme degli Standard Internazionali nella forma di bozza ISO EN 12312-1.

Attraverso l'uso di uno Spettrofotometro Varian Cary 5 del Dipartimento di Scienze Chimiche sotto la guida della dottoressa Da Deppo (tecnologo all'IFN-CNR di Padova) tarato per analizzare la trasmittanza dai 280 ai 2500 nanometri (un range che va dagli UVB agli IRA) si è cercato di capire se le curve di trasmittanza di quella determinata colorazione (e relativa categoria) rientrano nei parametri prestabiliti, e soprattutto se ci sia il corretto assorbimento di UV e IR (nei limiti delle tolleranze previste).

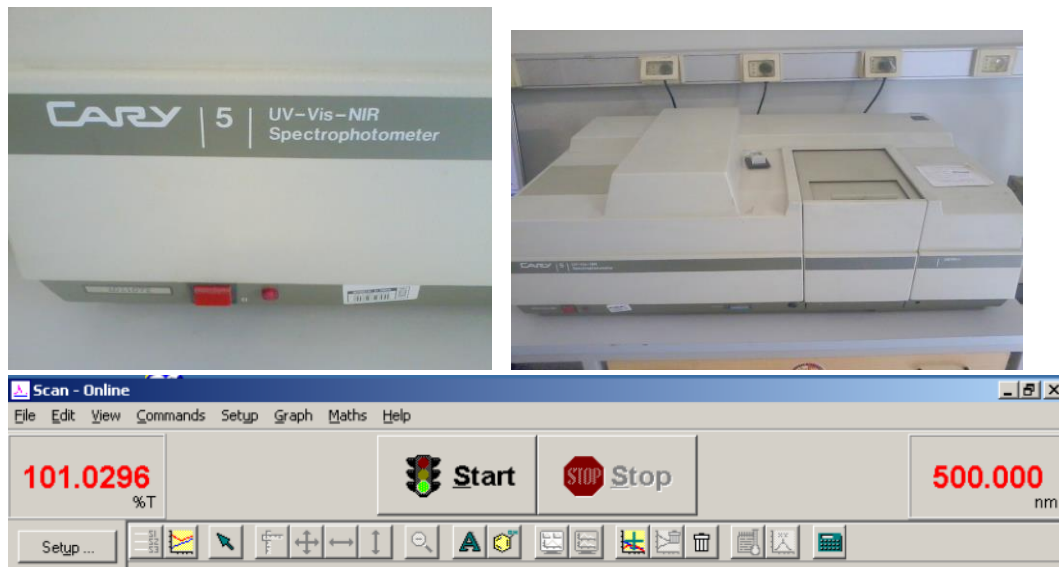
I requisiti di trasmittanza visibile e UV sono noti. Poiché le norme sugli IR appartengono ad una più recente legislazione a differenza di quelle sugli UV che sono più datate, si è notato una maggiore aderenza legislativa da parte delle aziende produttrici riguardo gli UV rispetto agli IR.

D'altro canto anche i materiali usati per realizzare i filtri incidono sull'assorbimento e la trasmittanza, per esempio durante l'analisi si è notato un miglior assorbimento degli infrarossi da parte dei filtri in vetro rispetto a quelli in cr39 o policarbonato.¹³ L'analisi suddividerà i filtri innanzitutto in base al materiale, poi in base all'aspetto cromatico e alle relative categorie. La netta maggioranza delle lenti analizzate appartengono alla categoria 3, tranne in alcuni casi dove si sono analizzati filtri di categoria 2 e categoria 1.

Tutti i filtri sono neutri, a colorazione sull'intera lente ; in nessuno di essi vi è specchiatura, sfumatura o polarizzazione che avrebbe alterato le misure e rese non comparabili.

¹³ Si tenga conto che nel cr39 il filtraggio degli UV è reso possibile grazie all'aggiunta di additivi, cosa che invece non è necessario fare con il policarbonato, visto che la molecola che compone il materiale filtra di per se stessa gli UV. Tutto ciò ha una sua incidenza sui costi di produzione delle lenti.

SPETTROFOTOMETRO: STRUTTURA E FUNZIONAMENTO



Analizziamo la strumentazione che ci ha permesso di effettuare le misure sui filtri.

Sostanzialmente uno spettrofotometro si compone di 5 componenti principali:

- 1) Sorgente Principale
- 2) Selezionatore Lunghezze D'onda o Monocromatore
- 3) Cella
- 4) Rilevatore
- 5) Lettore

1. **Sorgente Principale:** E' la parte della strumentazione da cui origina la radiazione che viene diretta sul campione in esame. Poiché lo strumento da noi utilizzato analizza la radiazione sia nell'UV-VIS sia nell'IR sono presenti due distinte lampade in maniera che la sorgente copra l'intervallo nanometrico richiesto

- a) Per misurare la *radiazione UV* è stata utilizzata **una lampada al deuterio**
- b) Per misurare le *radiazioni VIS-IR* è stata invece utilizzata **una lampada QTH, ovvero una lampada alogena quarzo-tungsteno**

Solitamente il meccanismo di cambio-lampada si attiva attorno ai 400 nanometri, in modo da utilizzare la lampada più opportuna per la regione in analisi. Un'altra componente importante è la **fenditura d'ingresso**, posta subito dopo la sorgente: serve a rendere i raggi paralleli e ad evitare la diffusione di luce all'interno dell'apparecchio.

2. **Monocromatore:** E' il sistema ottico utilizzato per disperdere la luce policromatica in bande monocromatiche, che vengono poi inviate in successione sul campione. Ne esistono due tipi:
 - a) Basati su *Filtri* (**ottici** o **interferenziali**) che bloccano una parte della radiazione e lasciano passare solo la parte desiderata
 - b) Basati su un *Elemento Disperdente* (**prisma** o **reticoli**) che separano le varie componenti della radiazione e permettono la successiva selezione della banda desiderata

Lo spettrofotometro utilizzato si basa su un elemento disperdente; il fine è di far incidere il fascio policromatico su un oggetto (per l'appunto il prisma o il reticolo) in grado di deviare le diverse radiazioni con diversi angoli: la radiazione uscente sarà quella che passa attraverso la fenditura d'uscita.

L'apparecchiatura utilizzata per le misure, poiché analizza non solo l'UV e il Visibile, ma anche l'IR, ha come elemento disperdente i Reticoli: il loro funzionamento si basa sul fenomeno della *riflessione* e sono caratterizzati da una serie di solchi o fenditure parallele tracciate su una superficie lucida a distanza ravvicinata; in pratica avviene ciò che si osserva guardando obliquamente la superficie di un Cd.

3. **Cella:** In essa si inserisce il campione da analizzare. Nel nostro caso si tratta di uno scompartimento nel quale il campione viene inserito in un supporto metallico posizionato verticalmente. Tale supporto è provvisto di un foro del diametro di circa 3 cm attraverso il quale passa la radiazione prodotta dalla sorgente; l'interno dello scompartimento è rivestito da materiale plastico di colore nero opaco in maniera da evitare riflessioni che potrebbero inficiare la misurazione

4. **Rilevatore:** E' la parte dello strumento che esegue la misura vera e propria. In pratica è un dispositivo che produce un segnale elettrico in proporzione all'intensità delle radiazioni che lo investono; tale segnale viene poi trasferito ed elaborato elettronicamente.

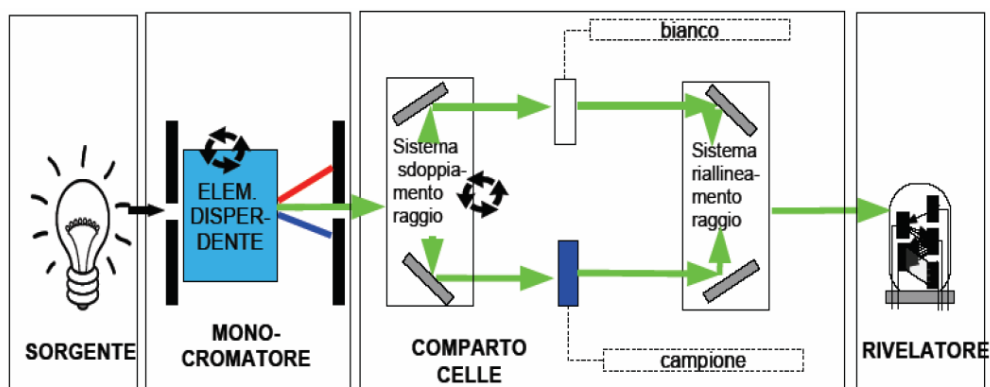
Genericamente esistono tre tipi di Rilevatori:

- a) *Celle Fotovoltaiche e Fotoconduttive:* sono basate su semiconduttori che ai loro capi generano una differenza di potenziale direttamente proporzionale all'intensità della radiazione incidente; sono però poco sensibili e non sempre ricoprono tutto il range desiderato
- b) *Fototubi o Fotomoltiplicatori:* basati sull'effetto fotoelettrico, cioè l'emissione di elettroni da parte di un materiale colpito da radiazioni luminose; tale emissione è proporzionale all'intensità della radiazione incidente
- c) *Fotodiodi:* sono microscopici circuiti su chip di silicio che variano la loro differenza di potenziale se investiti da una radiazione luminosa; hanno però sensibilità inferiore ai fotomoltiplicatori.

Nello spettrofotometro utilizzato gli UV e la parte visibile vengono misurati con un *Fotomoltiplicatore* del tipo R928; gli IR vengono invece misurati con un *Cella Fotovoltaica* di solfuro di piombo a controllo elettrotermico.

5. **Letto:** il segnale proveniente dal Rilevatore viene amplificato e un amperometro ne misura l'intensità; tale segnale viene poi convertito in un numero proporzionale all'intensità del segnale, in una scala numerica che va da 0 a 100. Otteniamo così la trasmittanza del campione esaminato.

Il tipo di Spettrofotometro utilizzato è quello a **Doppio Raggio:** si ha un sistema che invia due raggi (identici per frequenza ed intensità) , uno attraverso il filtro e l'altro attraverso il bianco, in modo che ci sia un continuo confronto tra la trasmittanza del campione e quella del bianco. Grazie a questo è possibile effettuare misure direttamente a qualsiasi lunghezza d'onda senza ripetere gli azzeramenti, e ciò rende questa tipologia di spettrofotometro la preferibile per misurare UV e soprattutto IR. L'accuratezza della lunghezza d'onda esaminata è di $\pm 0,1$ nm per l'UV-VIS e di $\pm 0,4$ per l'IRA; l'accuratezza della trasmittanza è di $\pm 0,1$ nm



Trasmittanza dei Filtri da Sole ad uso generale secondo norma tecnica ISO EN 12312-1

La tabella qui riportata riassume schematicamente i parametri contenuti nella normativa ISO-EN 12312-1. In essa vengono esplicitati le percentuali/gli intervalli percentuali di trasmittanza richiesti a seconda della categoria (dalla 0 alla 4) e del range spettrale (UV-B, UV-A, Visibile, IRA).

Etichetta per il Consumatore	Etichetta Tecnica	Requisiti			
		Intervallo Spettrale Ultravioletto		Intervallo Spettrale Visibile	Assorbimento Infrarosso migliorato *
Etichetta Descrittiva	Categoria Filtro	Massimo valore di trasmittanza UV-B solare	Massimo valore di trasmittanza UV-A solare	Intervallo di trasmittanza luminosa	Massimo valore di trasmittanza IR solare
		τ SUVB	τ SUVA	τ V	τ IRA
		Da 280 a 315 nm	Da 315 a 380 nm	Da 380 a 780 nm	
Occhiali da Sole di lieve colorazione	0	5% τ V	τ V	τ V >80%	τ V
	1	5% τ V	τ V	43% < τ V ≤ 80%	τ V
Occhiali da Sole per uso generale	2	1% assoluto oppure 5% τ V	50% τ V	18% < τ V ≤ 43%	τ V
	3	1% assoluto	50% τ V	8% < τ V ≤ 18%	τ V
Occhiali da Sole molto scuri per uso speciale	4	1% assoluto	1% assoluto oppure 25% τ V	3% < τ V ≤ 8%	τ V

Note: il limite superiore di UV-A a 380 nm coincide con quello utilizzato in ottica oftalmica e nella ISO 20473, *Ottica e fotoni – Bande Spettrali*.

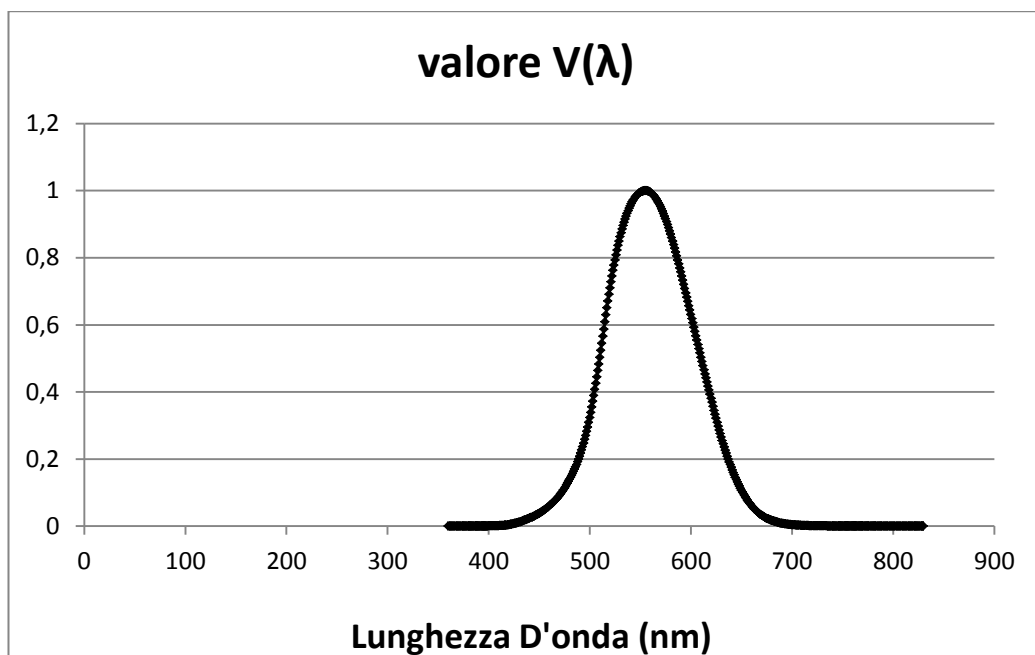
* Solamente applicabile ai filtri da sole raccomandati dal produttore come protezione contro i raggi infrarossi

In caso in cui la trasmittanza non sia quella prevista, viene generalmente accettata una tolleranza dello 0,5%, ovvero la τ complessiva può superare dello 0,5% il limite massimo previsto.

Con T_v intendiamo il fattore di trasmissione relativo al campo del visibile, comunemente conosciuto come trasmittanza luminosa. Nella metodica da noi utilizzata essa esprime la somma percentuale di luce che passa attraverso il filtro alle varie lunghezze d'onda pesate dalla funzione della sensibilità fotonica dell'occhio umano, cioè $V(\lambda)$, ed è espressa dalla seguente formula:

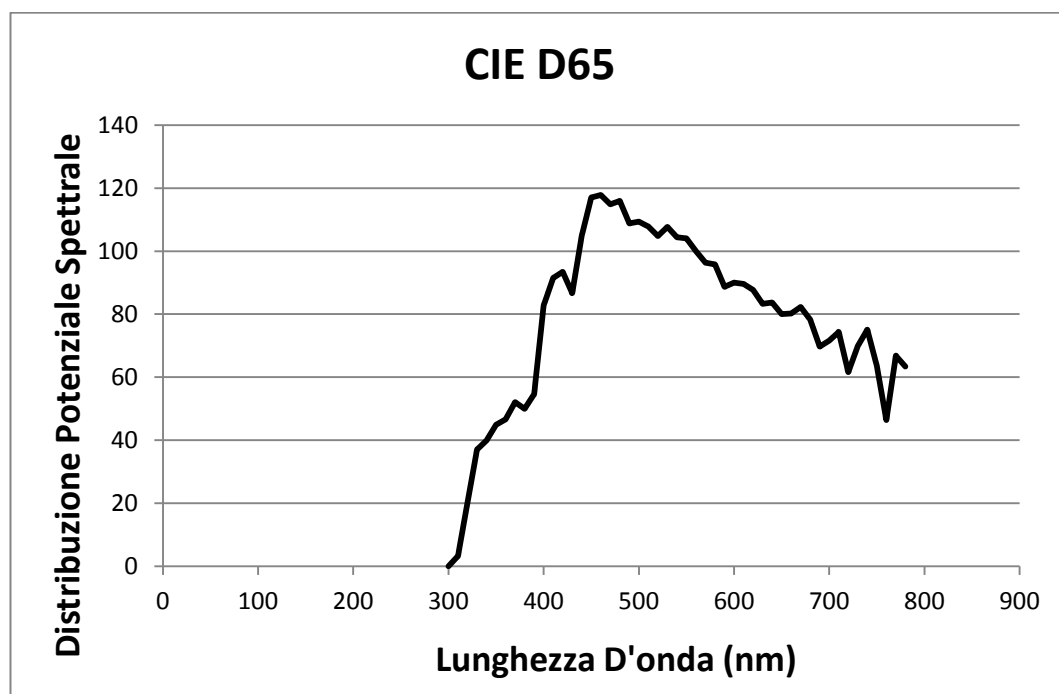
$$T_v = \frac{\int_{380nm}^{780nm} T(\lambda)V(\lambda)S_{ILL}(\lambda)d\lambda}{\int_{380nm}^{780nm} V(\lambda)S_{ILL}(\lambda)d\lambda}$$

$V(\lambda)$ è rappresentata da questa curva normalizzata ad un valore massimo di 1 che corrisponde al picco di sensibilità dell'occhio umano in visione fotonica, ovvero 555 nm.



Con $S_{ILL}(\lambda)$ si intende la funzione di distribuzione dell'illuminante, che nel caso della luce solare diurna è l'illuminante CIE standard 65.

Un'illuminante viene definito come una sorgente teorica di luce visibile e serve come base per il confronto di immagini o colori sotto differenti illuminazioni. La CIE è la commissione internazionale responsabile della pubblicazione di tutte gli illuminanti standard riconosciute; tra di esse troviamo quella da noi utilizzata, cioè il D65, definita come "l'illuminante solare standard di riferimento per l'industria, da utilizzare in tutti i calcoli colorimetrici che richiedano la luce solare", rappresentata dalla seguente curva



λ (nm)	Valori Standard Cie D65		
300	0,0341	340	39,9488
301	0,36014	341	40,4451
302	0,68618	342	40,9414
303	1,01222	343	41,4376
304	1,33826	344	41,9339
305	1,6643	345	42,4302
306	1,99034	346	42,9265
307	2,31638	347	43,4228
308	2,64242	348	43,9191
309	2,96846	349	44,4154
310	3,2945	350	44,9117
311	4,98864	351	45,0844
312	6,68278	352	45,257
313	8,37692	353	45,4297
314	10,0711	354	45,6023
315	11,7652	355	45,775
316	13,4594	356	45,9477
317	15,1535	357	46,1203
318	16,8477	358	46,293
319	18,5418	359	46,4656
320	20,236	360	46,6383
321	21,9177	361	47,1834
322	23,5995	362	47,7285
323	25,2812	363	48,2735
324	26,963	364	48,8186
325	28,6447	365	49,3637
326	30,3265	366	49,9088
327	32,0082	367	50,4539
328	33,69	368	50,9989
329	35,3717	369	51,544
330	37,0535	370	52,0891
331	37,343	371	51,8777
332	37,6325	372	51,6664
333	37,9221	373	51,455
334	38,2116	374	51,2437
335	38,5011	375	51,0323
336	38,7906	376	50,8209
337	39,0802	377	50,6096
338	39,3697	378	50,3982

339	39,6593	379	50,1869
380	49,9755	422	92,0819
381	50,4428	423	91,4069
382	50,91	424	90,732
383	51,3773	425	90,057
384	51,8445	426	89,3821
385	52,3118	427	88,7071
386	52,7791	428	88,0322
387	53,2464	429	87,3572
388	53,7136	430	86,6823
389	54,1809	431	88,5006
390	54,6482	432	90,3188
391	57,4589	433	92,1371
392	60,2695	434	93,9553
393	63,0802	435	95,7736
394	65,8908	436	97,5919
395	68,7015	437	99,4102
396	71,5122	438	101,228
397	74,3229	439	103,047
398	77,1335	440	104,865
399	79,9442	441	106,079
400	82,7549	442	107,293
401	83,628	443	108,508
402	84,5011	444	109,722
403	85,3742	445	110,936
404	86,2473	446	112,15
405	87,1204	447	113,365
406	87,9935	448	114,579
407	88,8666	449	115,794
408	89,7398	450	117,008
409	90,6129	451	117,088
410	91,486	452	117,169
411	91,6806	453	117,249
412	91,8752	454	117,33
413	92,0697	455	117,41
414	92,2643	456	117,49
415	92,4589	457	117,571
416	92,6535	458	117,651
417	92,8481	459	117,732
418	93,0426	460	117,812
419	93,2372	461	117,517
420	93,4318	462	117,222
421	92,7568	463	116,926

464	116,631	506	108,423
465	116,336	507	108,268
466	116,041	508	108,112
467	115,746	509	107,957
468	115,451	510	107,802
469	115,156	511	107,501
470	114,861	512	107,2
471	114,967	513	106,898
472	115,073	514	106,597
473	115,18	515	106,296
474	115,286	516	105,995
475	115,392	517	105,694
476	115,498	518	105,392
477	115,604	519	105,091
478	115,711	520	104,79
479	115,817	521	105,08
480	115,923	522	105,37
481	115,212	523	105,659
482	114,501	524	105,949
483	113,789	525	106,239
484	113,078	526	106,529
485	112,367	527	106,819
486	111,656	528	107,109
487	110,945	529	107,399
488	110,233	530	107,689
489	109,522	531	107,361
490	108,811	532	107,032
491	108,865	533	106,704
492	108,919	534	106,375
493	108,974	535	106,047
494	109,028	536	105,719
495	109,082	537	105,39
496	109,136	538	105,062
497	109,191	539	104,733
498	109,245	540	104,405
499	109,3	541	104,369
500	109,354	542	104,333
501	109,199	543	104,297
502	109,044	544	104,261
503	108,888	545	104,225
504	108,733	546	104,189
505	108,578	547	104,153
548	104,118	590	88,6856

549	104,082	591	88,8177
550	104,046	592	88,9497
551	103,641	593	89,0818
552	103,237	594	89,2138
553	102,832	595	89,3459
554	102,428	596	89,478
555	102,023	597	89,61
556	101,618	598	89,7421
557	101,214	599	89,8741
558	100,809	600	90,0062
559	100,405	601	89,9655
560	100	602	89,9248
561	99,6334	603	89,884
562	99,2668	604	89,8433
563	98,9003	605	89,8026
564	98,5337	606	89,7619
565	98,1671	607	89,7212
566	97,8005	608	89,6805
567	97,4339	609	89,6398
568	97,0674	610	89,5991
569	96,7008	611	89,4091
570	96,3342	612	89,219
571	96,2796	613	89,029
572	96,225	614	88,8389
573	96,1703	615	88,6489
574	96,1157	616	88,4589
575	96,0611	617	88,2688
576	96,0065	618	88,0788
577	95,9519	619	87,8887
578	95,8972	620	87,6987
579	95,8426	621	87,2577
580	95,788	622	86,8167
581	95,0778	623	86,3756
582	94,3675	624	85,9346
583	93,6573	625	85,4936
584	92,947	626	85,0526
585	92,2368	627	84,6116
586	91,5266	628	84,1706
587	90,8163	629	83,7296
588	90,1061	630	83,2886
589	89,3958	631	83,3297
632	83,3707	674	80,6804
633	83,4118	675	80,281

634	83,4528	676	79,8816
635	83,4939	677	79,4823
636	83,535	678	79,0829
637	83,576	679	78,6836
638	83,6171	680	78,2842
639	83,6581	681	77,4279
640	83,6992	682	76,5716
641	83,332	683	75,7153
642	82,9647	684	74,859
643	82,5975	685	74,0027
644	82,2302	686	73,1464
645	81,863	687	72,2901
646	81,4958	688	71,4339
647	81,1285	689	70,5776
648	80,7613	690	69,7213
649	80,394	691	69,9101
650	80,0268	692	70,0989
651	80,0456	693	70,2876
652	80,0644	694	70,4764
653	80,0831	695	70,6652
654	80,1019	696	70,854
655	80,1207	697	71,0428
656	80,1395	698	71,2315
657	80,1583	699	71,4203
658	80,177	700	71,6091
659	80,1958	701	71,8831
660	80,2146	702	72,1571
661	80,4209	703	72,431
662	80,6272	704	72,705
663	80,8336	705	72,979
664	81,0399	706	73,253
665	81,2462	707	73,527
666	81,4525	708	73,801
667	81,6588	709	74,075
668	81,8652	710	74,349
669	82,0715	711	73,0745
670	82,2778	712	71,8
671	81,8784	713	70,5255
672	81,4791	714	69,251
673	81,0797	715	67,9765
716	66,702	758	49,8531
717	65,4275	759	48,1356
718	64,153	760	46,4182

719	62,8785	761	48,4569
720	61,604	762	50,4956
721	62,4322	763	52,5344
722	63,2603	764	54,5731
723	64,0885	765	56,6118
724	64,9166	766	58,6505
725	65,7448	767	60,6892
726	66,573	768	62,728
727	67,4011	769	64,7667
728	68,2293	770	66,8054
729	69,0574	771	66,4631
730	69,8856	772	66,1209
731	70,4057	773	65,7786
732	70,9259	774	65,4364
733	71,446	775	65,0941
734	71,9662	776	64,7518
735	72,4863	777	64,4096
736	73,0064	778	64,0673
737	73,5266	779	63,7251
738	74,0467	780	63,3828
739	74,5669		
740	75,087		
741	73,9376		
742	72,7881		
743	71,6387		
744	70,4892		
745	69,3398		
746	68,1904		
747	67,041		
748	65,8915		
749	64,7421		
750	63,5927		
751	61,8752		
752	60,1578		
753	58,4403		
754	56,7229		
755	55,0054		
756	53,288		
757	51,5705		

L'introduzione degli illuminanti standard da parte della CIE iniziò nel 1931 e servì per definire fonti luminose affidabili, riproducibili e matematicamente descrivibili, da utilizzare per i calcoli colorimetrici. La CIE D65 corrisponde circa alla luce media a mezzogiorno in Europa Occidentale/Nord Europa (intesa sia come luce direttamente emessa dal sole sia come luce diffusa da un cielo limpido) e ha una temperatura di colore di 6500 K; i valori sono espressi con intervalli di un nanometro in un range che va dai 300 agli 830 nm.¹⁴

E' indispensabile far notare come il calcolo della curva sia stato fatto in determinate condizioni che inevitabilmente non possono tener conto di variabili come l'adattamento dell'occhio (in particolare l'adattamento cromatico, cioè la capacità del sistema visivo di adattarsi all'illuminante che illumina gli oggetti osservati) o alla variazione dell'illuminazione considerata che può contenere una percentuale più alta di UV o IR (un caso esemplare è la luce presente in alta montagna, dove a causa dell'assottigliamento atmosferico la percentuale di UVB che giunge agli occhi è maggiore rispetto alla pianura o al livello del mare). Tutto ciò rende ancora più indispensabile utilizzare dei filtri con un'adeguata protezione a seconda dell'ambiente in cui si trova il portatore, altrimenti i rischi per la salute oculare aumentano. Non meno importante è considerare la posizione delle sorgenti di luce rispetto alle lenti e gli effetti delle immagini disturbanti che si formano a causa della riflessione sulle sue superfici. Essenzialmente tali immagini vengono generate da radiazioni luminose provenienti:

- a) Da dietro le lenti, le quali vengono o riflesse dalla superficie posteriore della lente verso l'occhio oppure vengono rifratte dalla superficie posteriore della lente, riflesse da quella anteriore e ulteriormente rifratte dalla posteriore verso l'occhio
- b) Da davanti le lenti, prodotte dalla rifrazione sulla superficie anteriore delle lenti, da due riflessioni (prima sulla superficie anteriore e poi su quella posteriore) e dall'ulteriore rifrazione sulla superficie posteriore; queste risultano essere le più disturbanti per l'occhio. Ne esistono anche altre le quali una volta attraversate le lenti vengono riflesse dalla cornea, quindi

¹⁴ Definizione di CIE D65 ricavata da https://en.wikipedia.org/wiki/Illuminant_D65

subiscono un'ulteriore riflessione dalla superficie posteriore e ritornano verso gli occhi, ma che risultano essere poco disturbanti.

In ogni caso per ovviare a questo tipo di problemi l'ideale è l'aggiunta sui filtri da sole di un adeguato trattamento antiriflesso sia sulla superficie anteriore che su quella posteriore, cosicchè gli effetti delle radiazioni riflesse vengono ridotti al minimo.

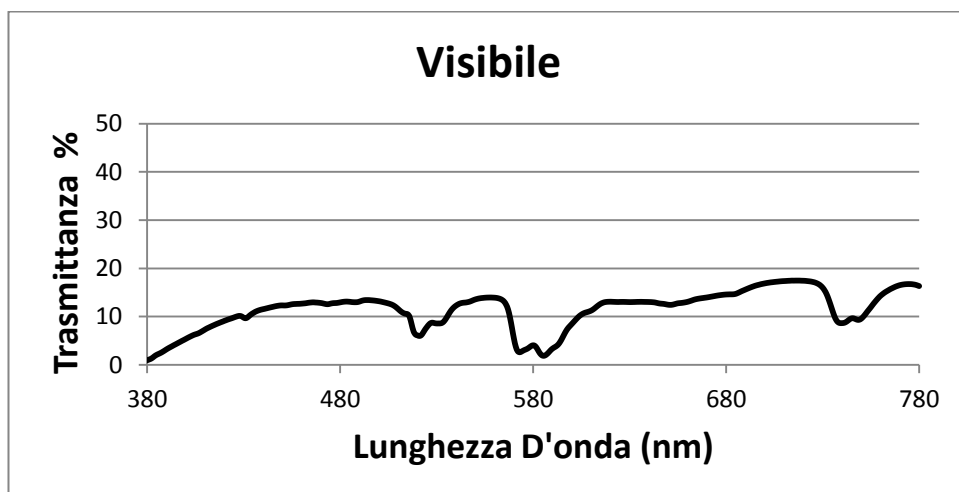
Analisi Filtri Vetro

Le performance prodotte da questa tipologie di filtri sono di gran lunga migliori delle altre riguardo la trasmittanza, e sicuramente il materiale con il quale vengono realizzate aiuta a raggiungere determinati standard qualitativi. Tutti i filtri in questa sezione appartengono alla categoria 3.

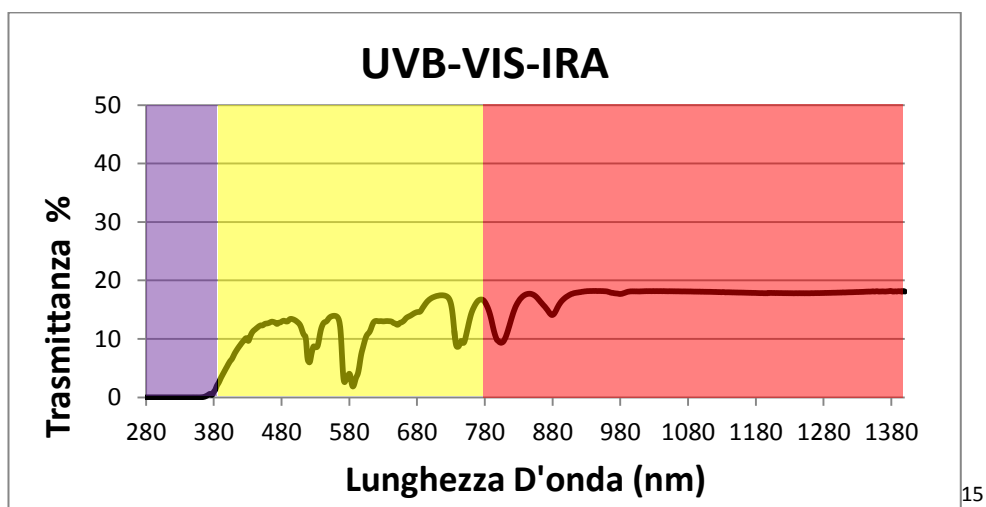
Il tipo di Vetro presente nei filtri analizzati è del tipo Crown, il più comune tra quelli utilizzati in ambito oftalmico. La sua composizione chimica è caratterizzata dalla presenza di un'alta percentuale di silice, e da percentuali variabili di calce e soda. Ha un basso indice di rifrazione (~ 1.52) e una bassa dispersione (numero di Abbe di circa 60).

Andiamo ora ad analizzare nel dettaglio ogni singolo filtro di questa tipologia di materiale.

Grigio



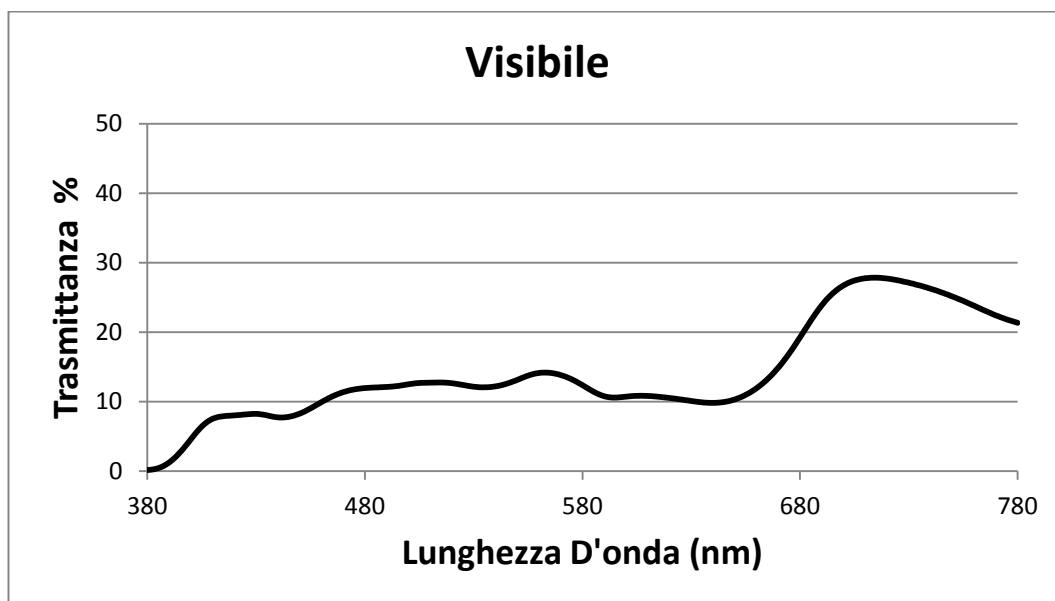
L'analisi di questo filtro ha riportato degli ottimi risultati; tutti i parametri previsti dalla nuova normativa vengono pienamente rispettati. Essa si mantiene lineare per lo spettro visibile del colore grigio di categoria 3, con la percentuale del visibile trasmesso che si attesta al 10%, entro il range previsto dalla normativa.



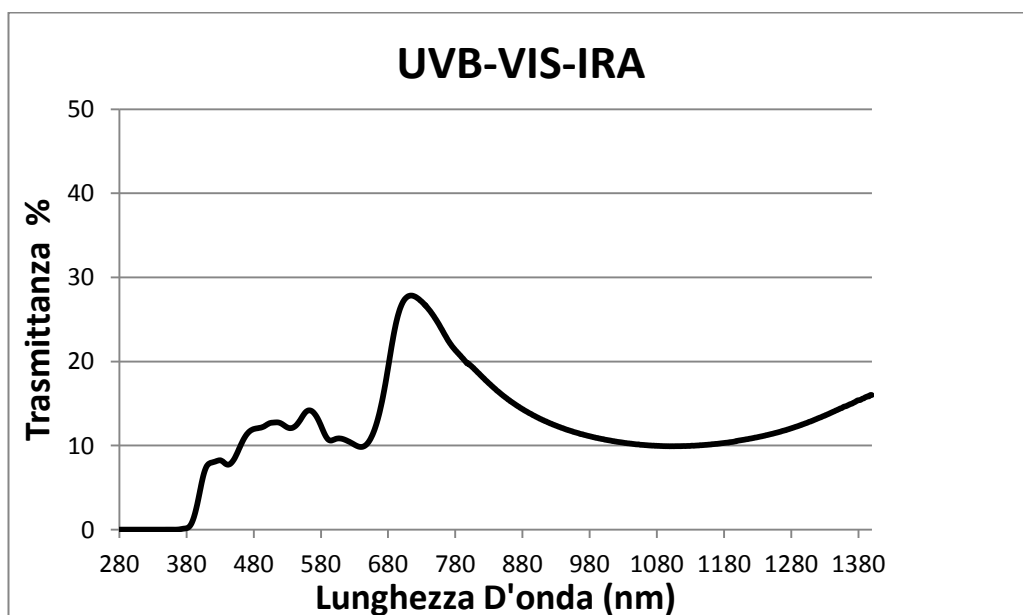
Buoni anche i risultati riguardanti la trasmittanza di UVA e UVB: l'assorbimento di queste due categorie di UV è pressoché totale. Stabilmente attorno al 18% la τ degli IR, quindi dentro i limiti previsti.

¹⁵ Legenda: a) Colore Viola: Banda spettrale degli ultravioletti b) Colore Giallo: Banda spettrale del visibile c) Colore Rosso: Banda spettrale degli infrarossi. Sono stati scelti questi colori per una più immediata associazione, ma si tenga conto che le zone dell'UV e dell'IR appaiono invisibili all'occhio umano, mentre il Visibile presenta la gamma di colori che va dal violetto al rosso, e non solamente il giallo.

Grigio Verde n.1

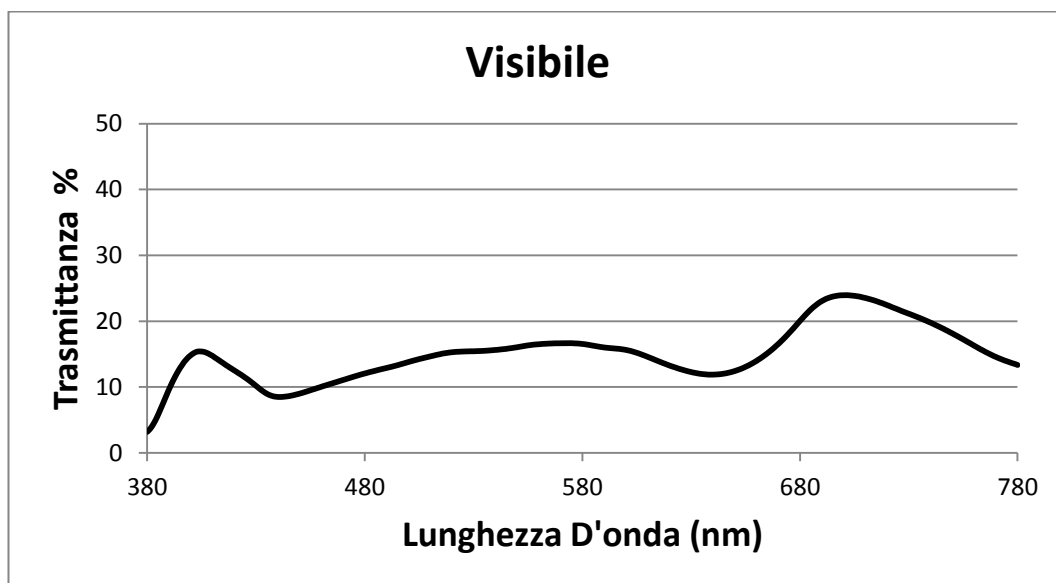


E' il tipico fitro che si riscontra in commercio che non è un vero filtro verde bensì di colore grigio-verde. La percentuale del visibile trasmesso si attesta al 12%, quindi dentro i limiti previsti per la categoria 3.

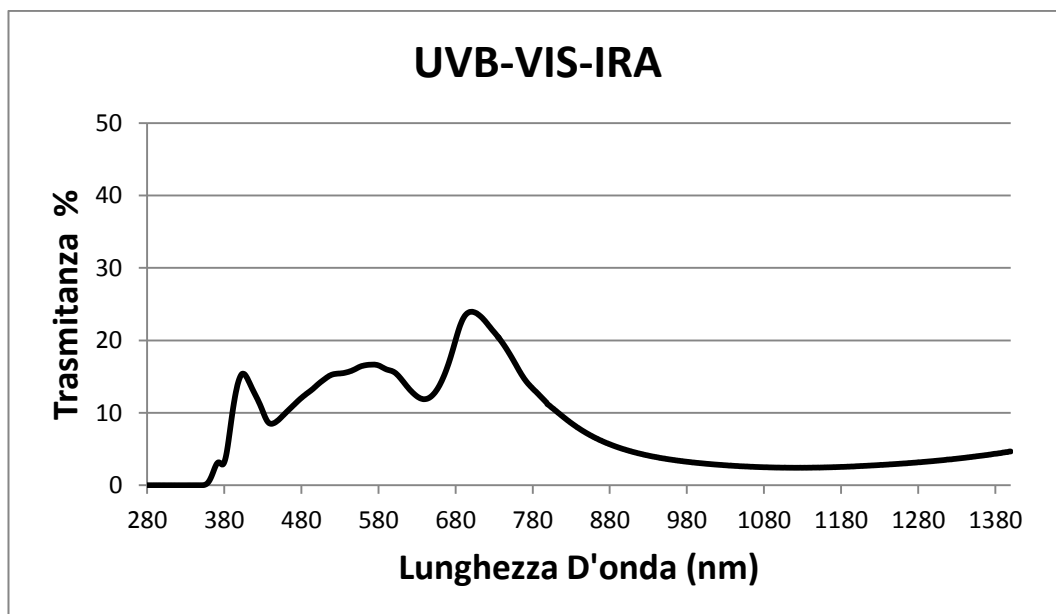


Ottimo l'assorbimento di UVB e UVA, anche gli infrarossi si mantengono perfettamente negli standard, eccedendo sopra il 18% solamente intorno ai 780-800 nanometri.

Grigio Verde n.2

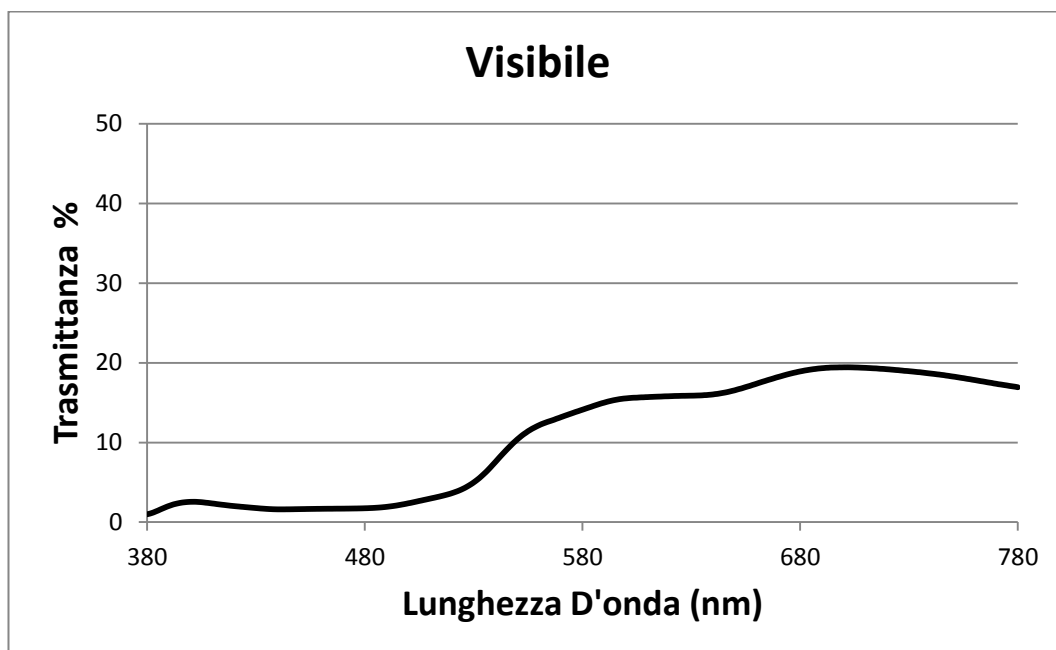


Come nel caso precedente ci troviamo di fronte ad una colorazione mista grigio-verde, e i risultati sono piuttosto simili; la curva di trasmittanza è piuttosto stabile, la percentuale del visibile trasmesso è del 15%, perfettamente dentro i limiti previsti.

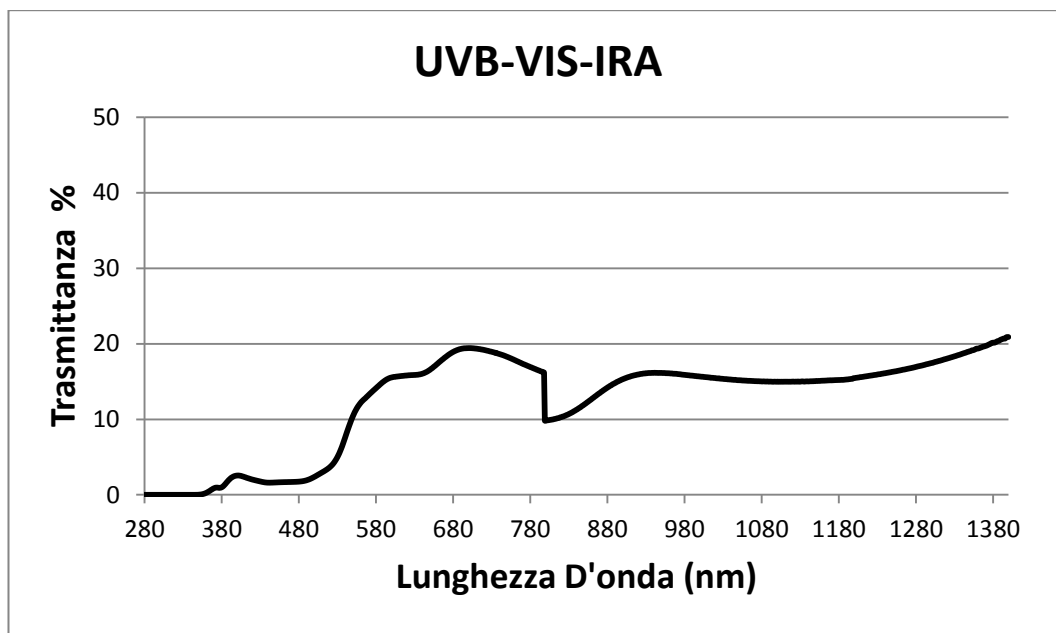


Ottimo l'assorbimento di UVB (pressoché totale) e UVA (trasmittanza del 3% al massimo intorno ai 380 nm). Bene anche l'assorbimento degli IRA, la cui trasmittanza non raggiunge mai il 10% .

Marrone



Ottima la curva di trasmittanza, che essendo di colore marrone mostra un progressivo innalzamento della trasmittanza dai 500 nm in poi, con una percentuale del visibile trasmesso che si attesta al 10%, quindi dentro il range normativo.



Bene l'assorbimento di UVB e UVA, pressoché totale, ottima anche la trasmittanza degli IRA, che solo attorno ai 1300 nm supera il 18% consentito, ma si mantiene in linea con le norme.

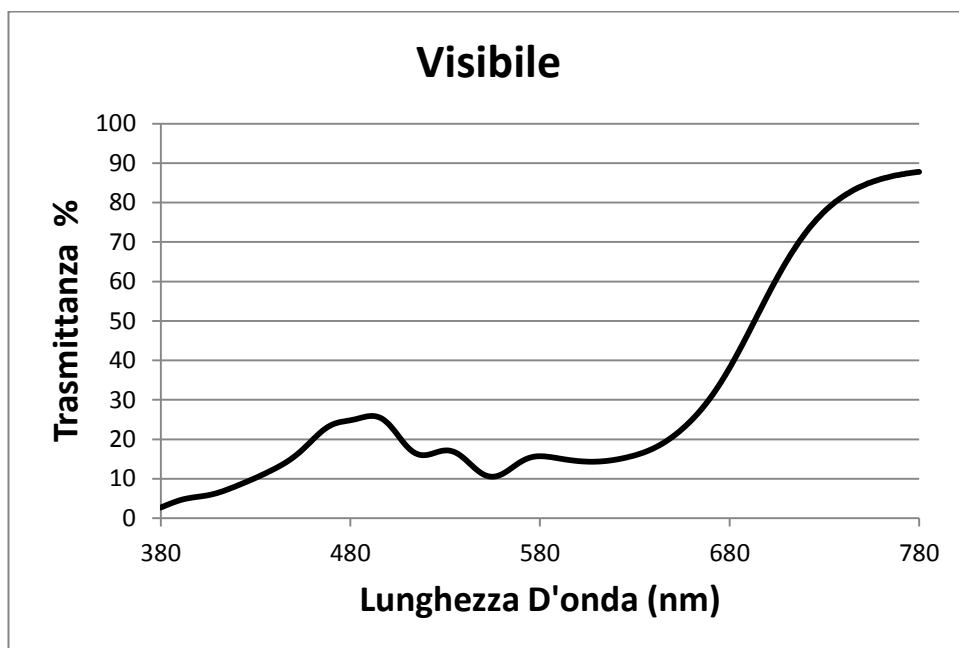
Analisi Filtri in Cr39

Questa tipologia di filtri non ha prodotto gli stessi risultati del vetro; mentre le norme riguardanti l'assorbimento degli UV e della radiazione visibile vengono rispettate quelle riguardanti l'assorbimento degli IR non soddisfano i parametri delle norme tecniche più recenti.

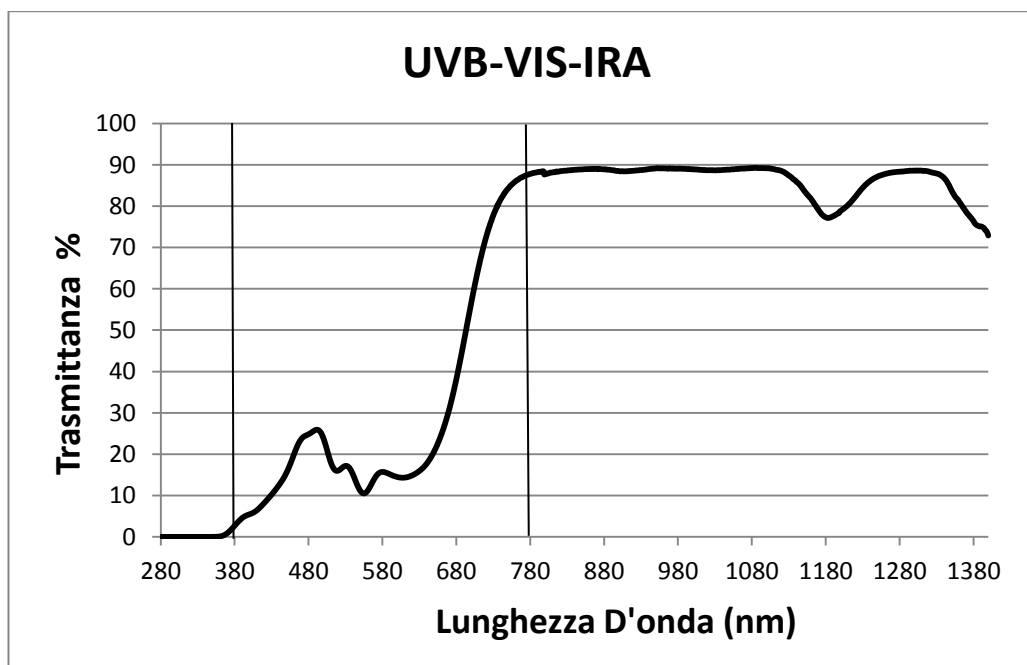
Il materiale che compone i filtri analizzati è per l'appunto il CR39 o poliallil-diglicol-carbonato (PADC), il quale è un polimero plastico appartenente alla classe dei poliesteri. Il suo nome deriva dal fatto di essere il trentanovesimo composto studiato nell'ambito di un progetto per la ricerca di resine trasparenti da parte di una divisione della PPG Industries; tale progetto era denominato "Columbia Resins". Presenta un indice di rifrazione 1.5 e una bassa dispersione cromatica (numero di Abbe 58). Rispetto al vetro ha circa la metà del peso specifico e una resistenza all'impatto 4 volte superiore.

Andiamo ora ad analizzare nel dettaglio ogni singolo filtro di questa tipologia di materiale.

Grigio n.1

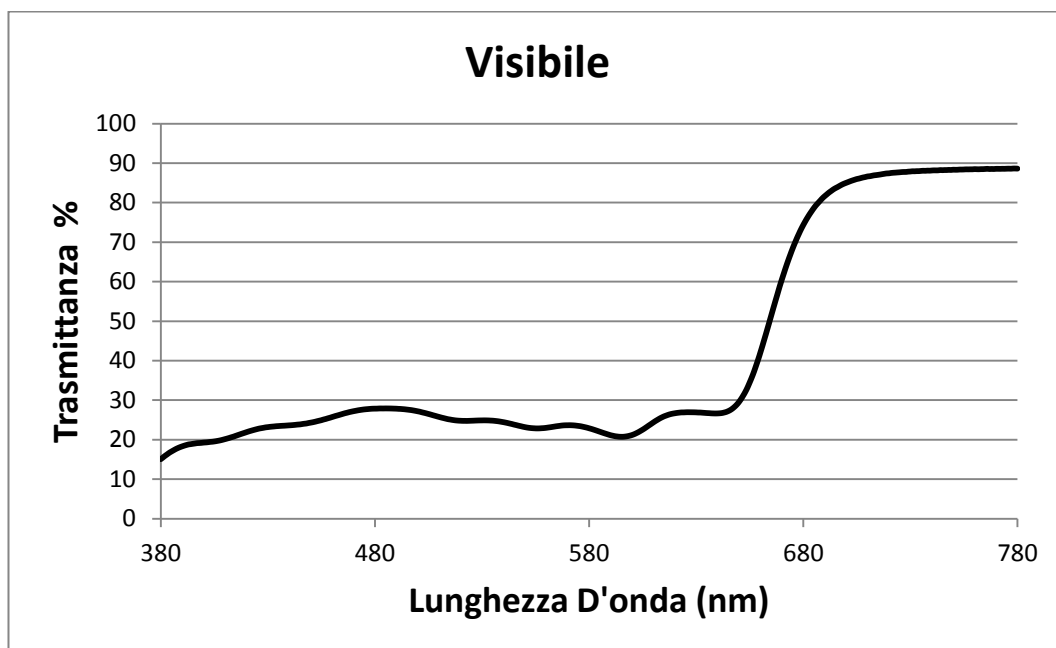


La curva di trasmittanza mostra il tipico andamento del grigio in cr39, con un progressivo innalzamento della trasmittanza dopo i 600 nanometri. La percentuale del visibile trasmesso si attesta al 16%, in linea con la normativa.

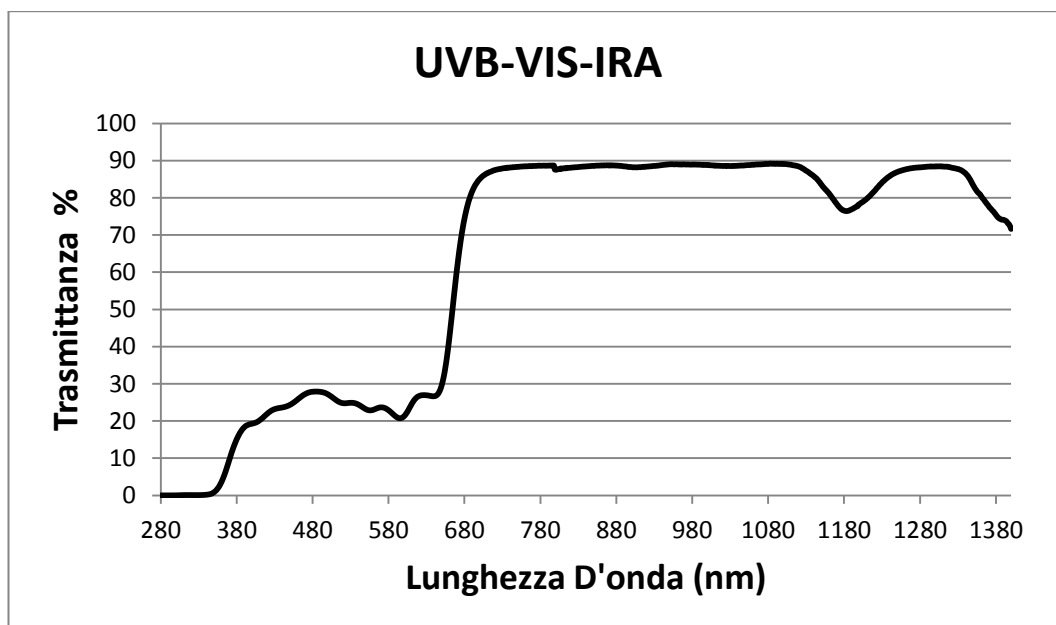


Buono l'assorbimento degli UV, con l'UVA che al massimo viene trasmesso per il 2%. Non bene la trasmittanza degli IR, che eccede il 18% attestandosi sul 90%, ben oltre il limite consentito.

Grigio n.2

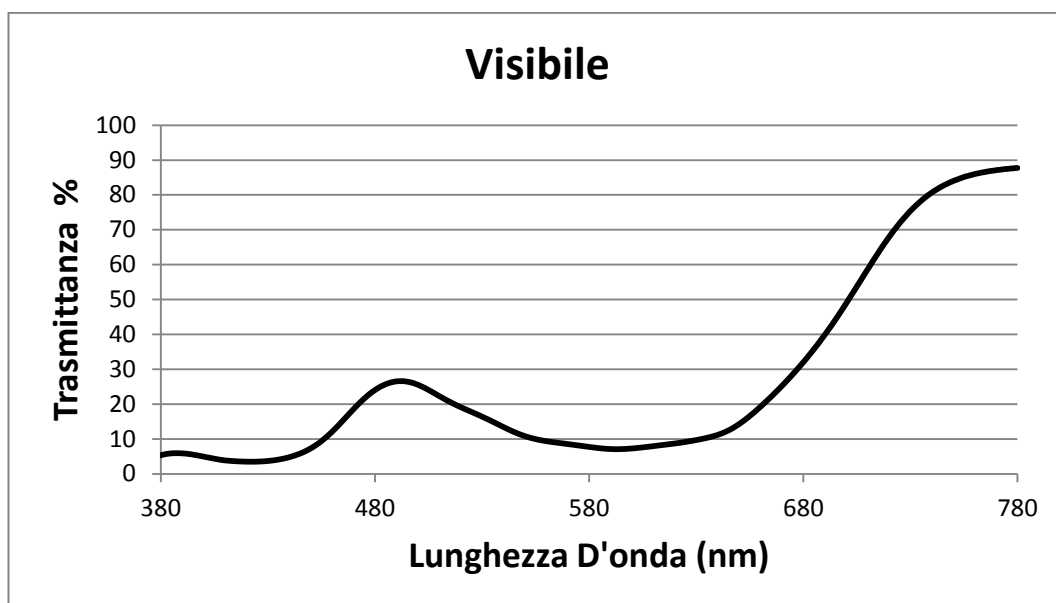


La curva di trasmittanza è in linea con l'andamento consueto per un filtro grigio in cr39 di grado 3, ma la percentuale del visibile trasmesso si attesta al 24%, e quindi sopra il limite massimo del 18% previsto per la categoria 3. Il filtro quindi non rispetta lo standard normativo.

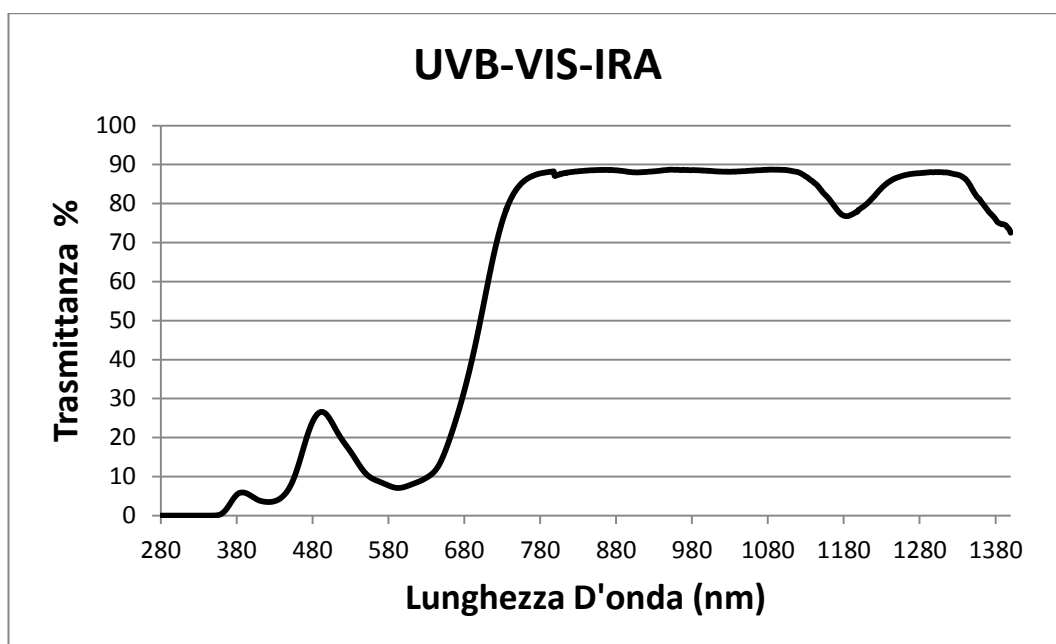


Ottimale l'assorbimento degli UVB, non va bene l'assorbimento degli UVA, che attorno ai 380 nanometri eccede il 9% massimo previsto, arrivando a toccare anche il 15%. Non soddisfacente neanche la trasmittanza degli IR, che supera il limite del 18% attestandosi al 90%.

Grigio Verde n.1

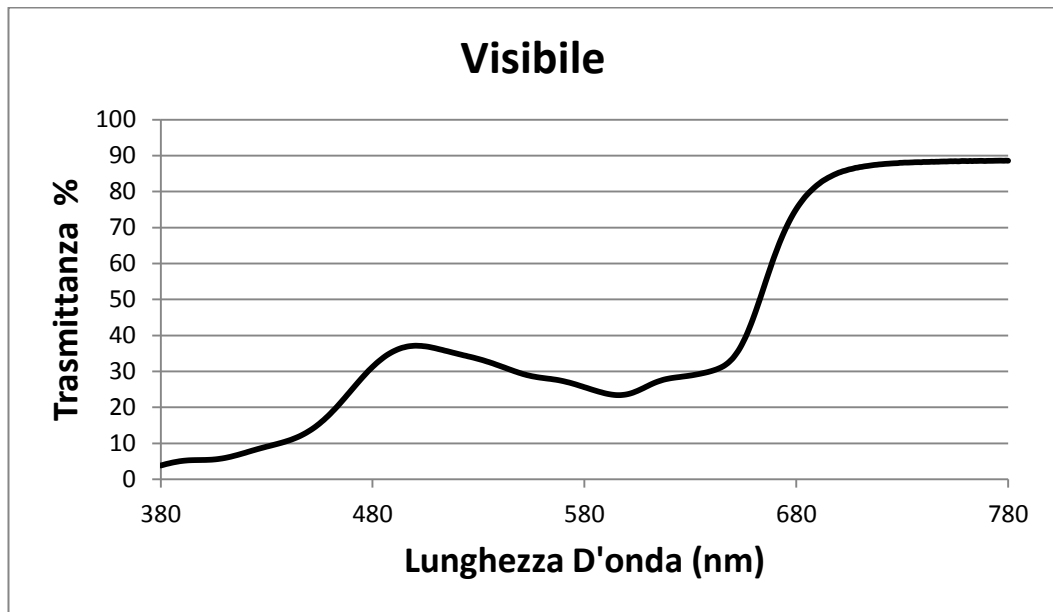


Non si tratta in questo caso di un verde puro, ma di un verde con l'aggiunta di grigio. Anche in questo caso la curva di trasmittanza si mantiene in linea con la curva prevista per questo colore in cr39, con un progressivo innalzamento della trasmittanza dopo i 650 nm. La percentuale del visibile trasmesso è attorno al 13%, dentro i limiti previsti.

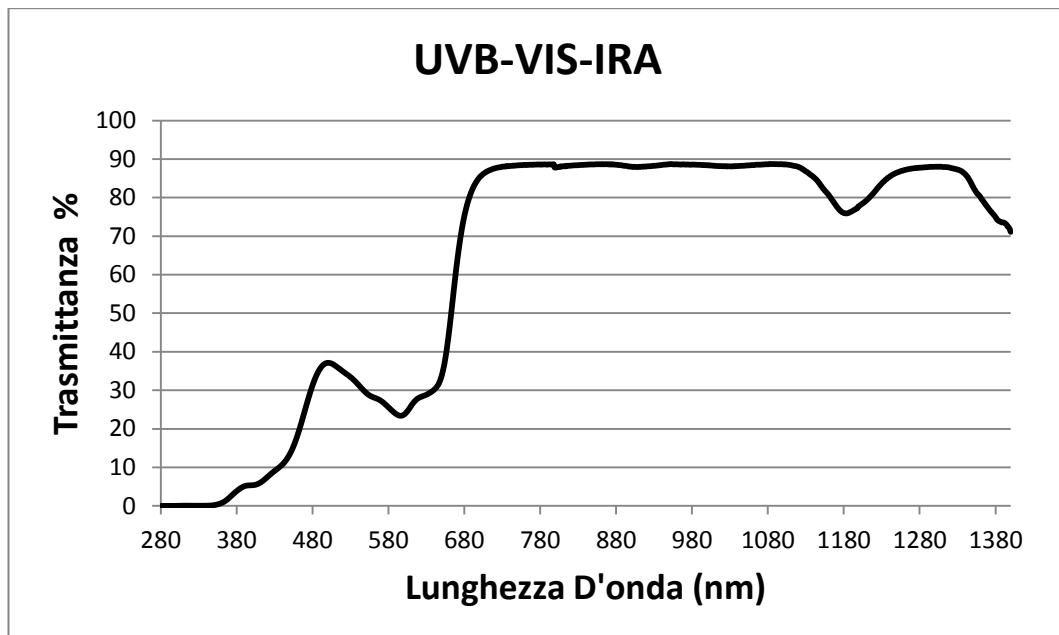


Bene l'assorbimento di UVB e UVA, peggio invece la trasmittanza degli infrarossi, sopra il 18% consentito e stabilmente attorno al 90%.

Grigio Verde n.2

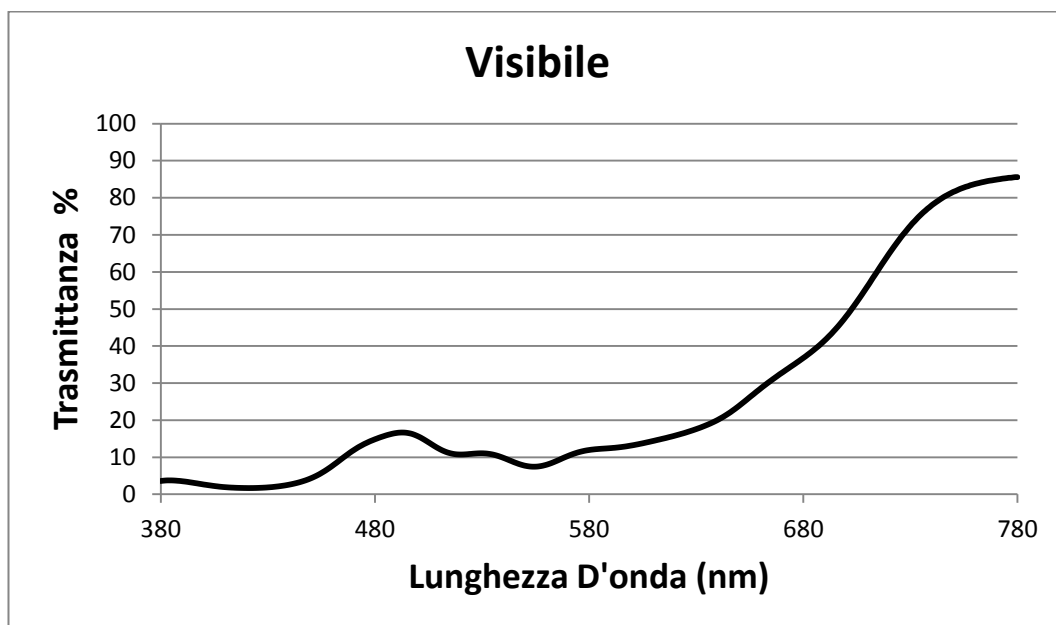


Come nel caso precedente non si tratta di un vero e proprio verde ma piuttosto di un verde-grigio. La trasmittanza si mantiene in linea con la previsione di curva in questo tipo di materiale; purtroppo la percentuale del visibile trasmessa non rispetta i limiti previsti, attestando al 30%.

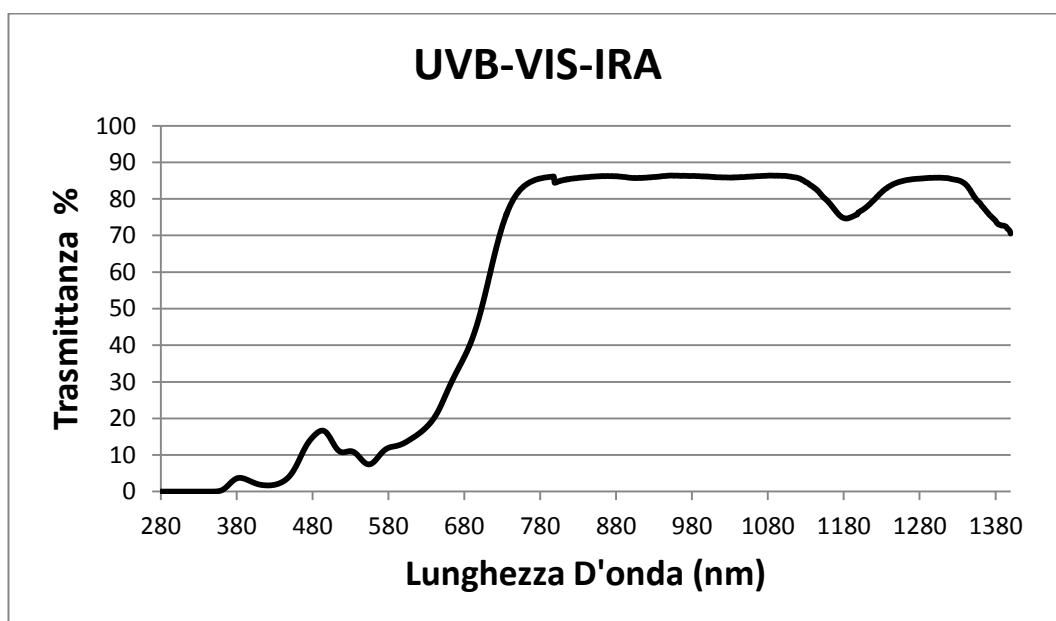


Bene l'assorbimento di UVB e UVA, come nei casi precedenti la trasmittanza degli IR eccede il 18% massimo previsto, rimanendo stabilmente attorno al 90%.

Marrone n.1

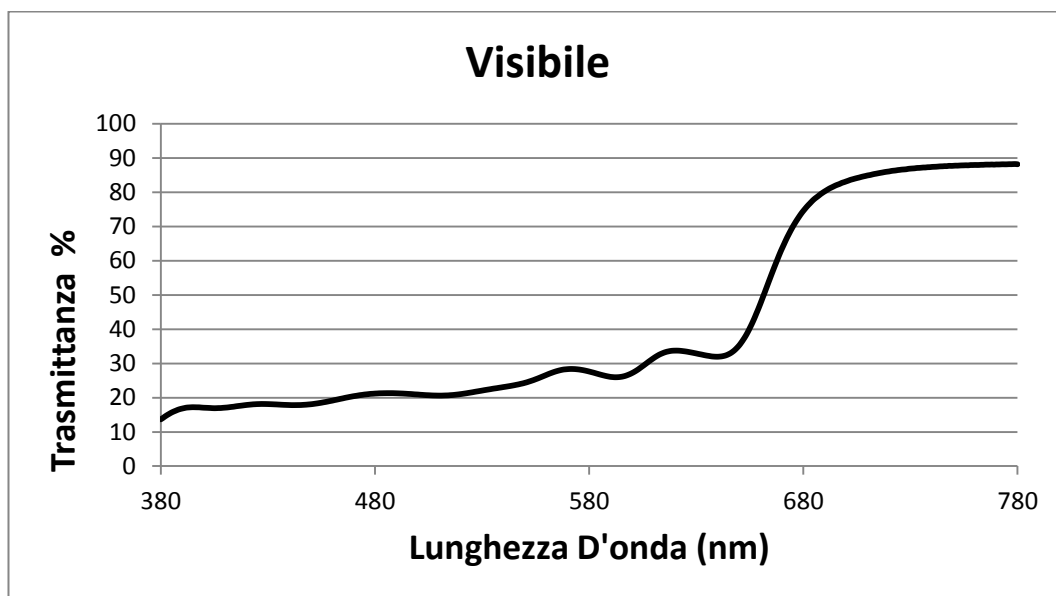


La trasmittanza si mantiene il linea con le previsioni di incremento, in particolare dopo i 550 nm, tipico del filtro marrone in cr39. La percentuale del visibile trasmessa è del 12%, quindi dentro il range normativo.

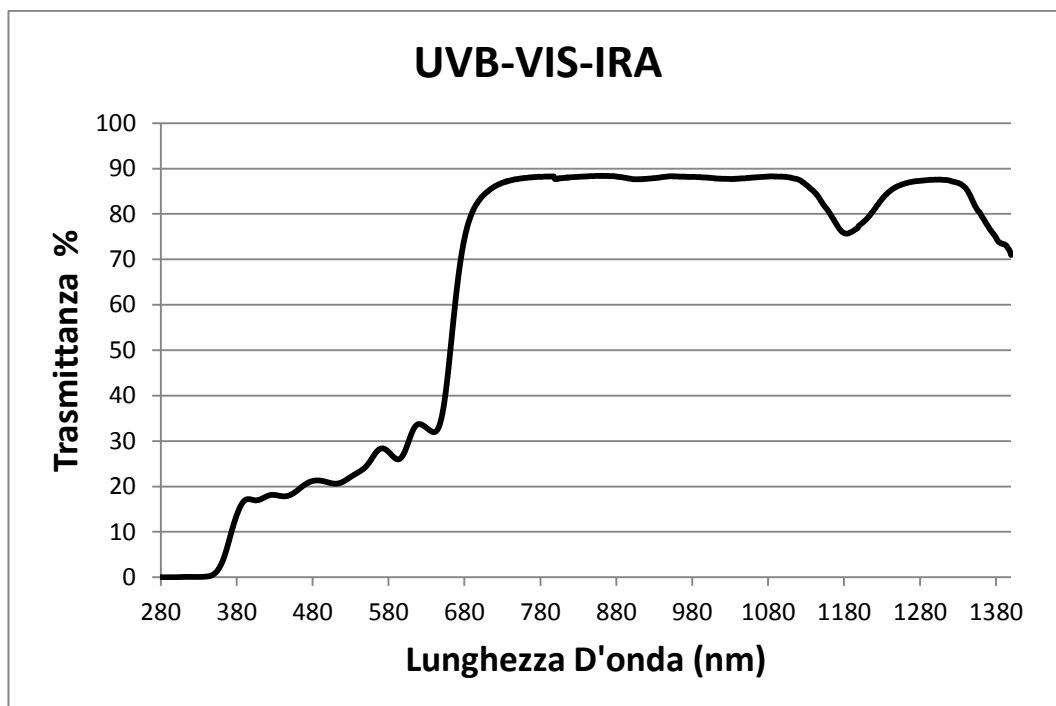


Bene l'assorbimento di UVB e UVA, non va bene la trasmittanza degli IR, stabile all'85% e quindi oltre i limiti normativi.

Marrone n.2



La trasmittanza è coerente con la previsione di incremento trasmissivo del marrone in Cr39. Non rispetta invece i limiti la percentuale di trasmittanza del visibile, che si attesta attorno al 26%.



Va bene solo l'assorbimento degli UVB, quello degli UVA invece eccede lievemente il 9% di tolleranza dopo i 370 nm. Non va bene la trasmittanza degli infrarossi, stabile attorno al 90% e quindi oltre i limiti normativi.

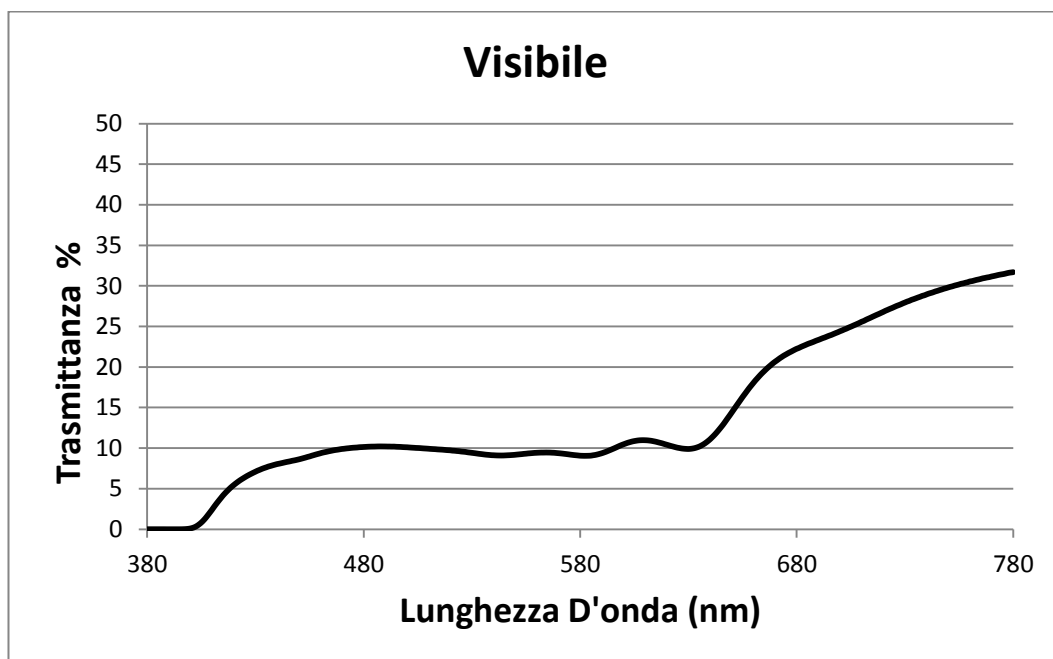
Analisi filtri in Policarbonato

Come nel caso dei filtri in cr39, i risultati si sono rivelati buoni per quanto riguarda l'assorbimento degli UV e la trasmittanza del visibile, meno riguardo l'assorbimento degli IR. Tutti i filtri analizzati in questa sezione appartengono alla categoria 3.

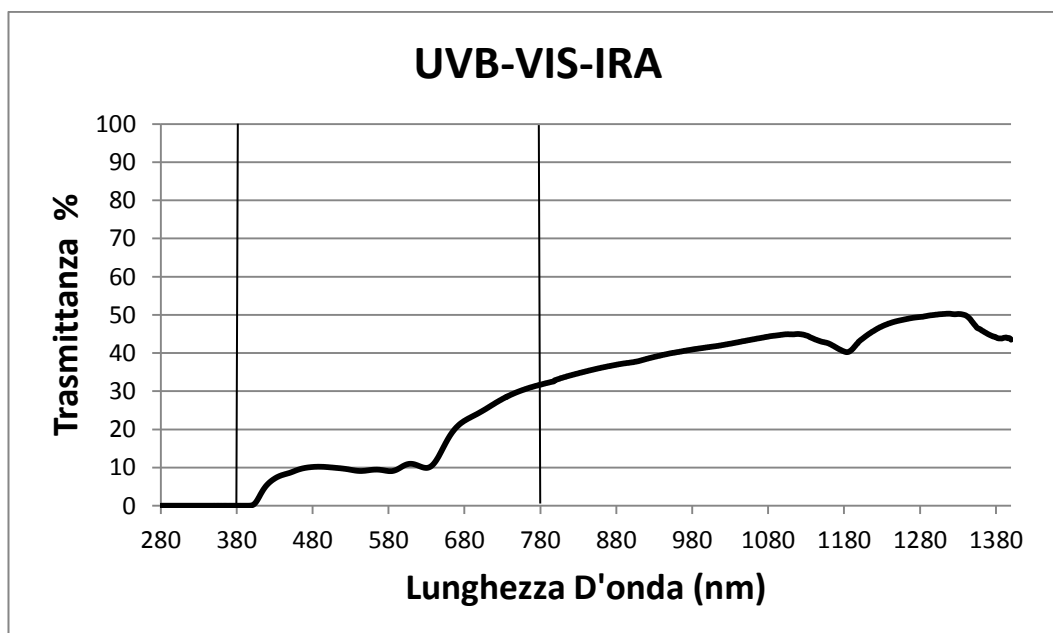
Il Policarbonato è un polimero termoplastico ottenuto dall'acido carbonico. Presenta un indice di rifrazione piuttosto alto (1.59), un basso peso specifico ed un'elevata resistenza agli urti, ma un basso numero di Abbe (32) il che comporta una dispersione più alta rispetto a materiali come il cr39 o il vetro.

Andiamo ora ad analizzare nel dettaglio ogni singolo filtro di questa tipologia di materiale.

Grigio n.1

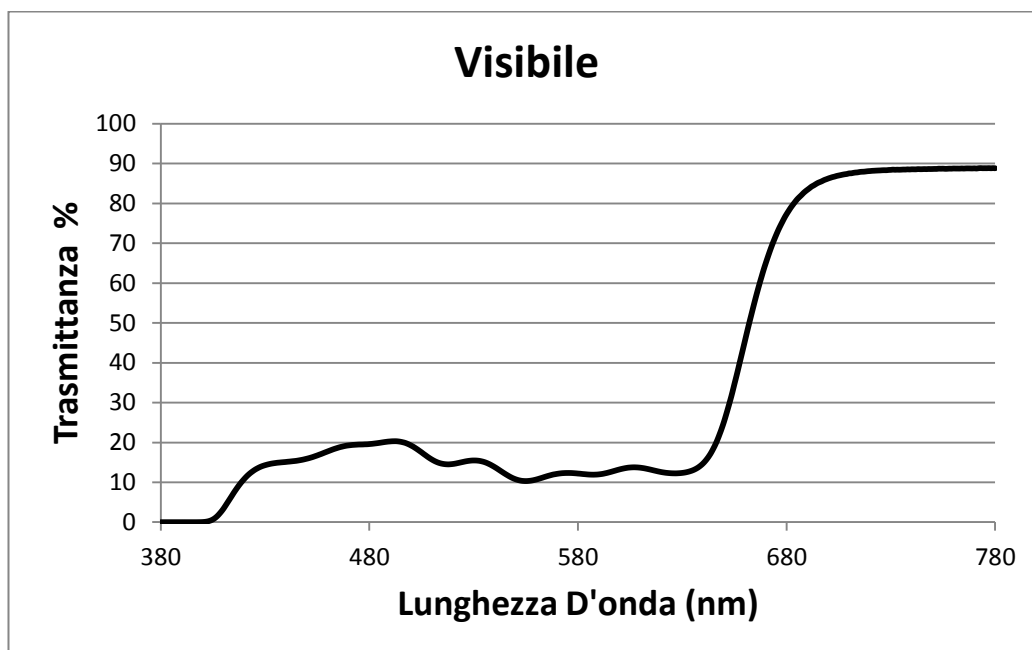


L'andamento della curva non è usuale nella media del policarbonato, di solito meno assorbente dopo i 650 nanometri. Bene la percentuale del visibile trasmesso, il cui valore del 10% è in linea con le normative.

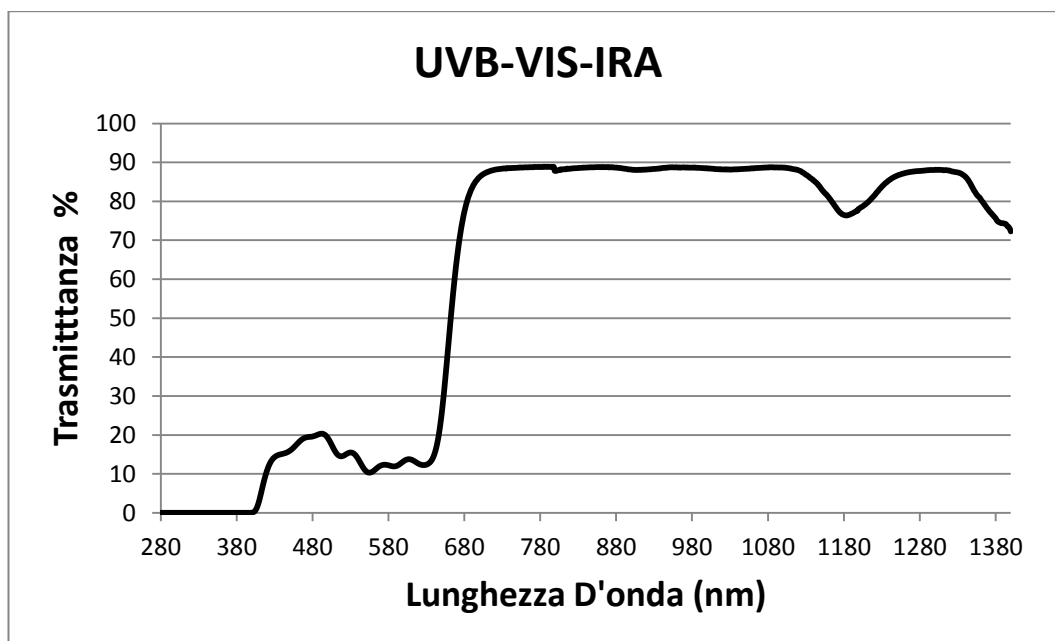


Ottimo l'assorbimento di UVB e UVA, la trasmittanza degli IRA supera il limite del 18%, toccando anche il 50%. I parametri non sono quindi rispettati.

Grigio n.2

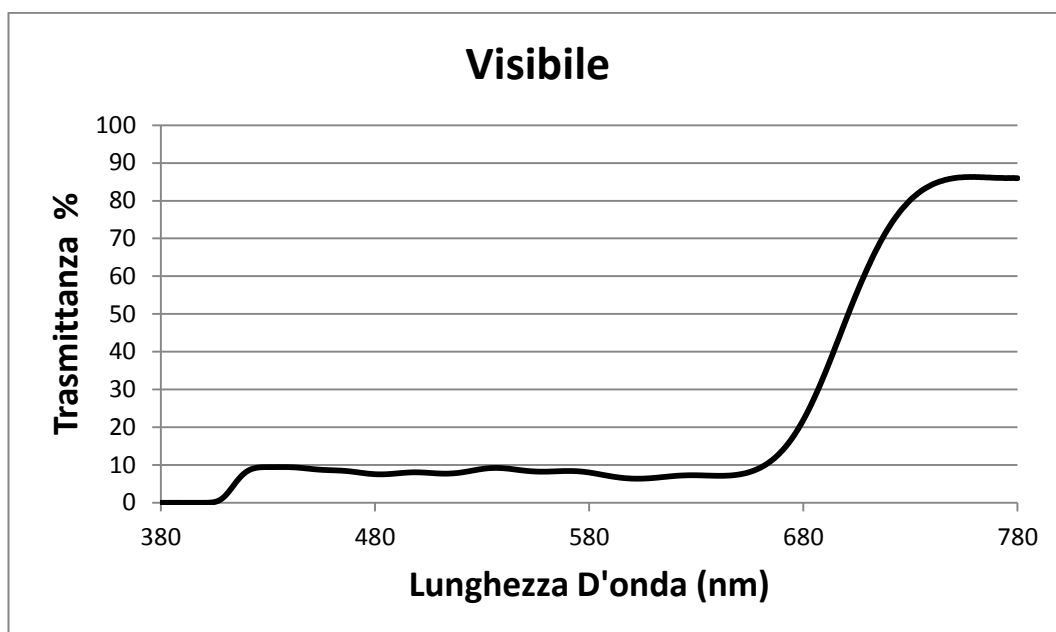


La curva segue le aspettative di andamento del grigio 3 in policarbonato, e la percentuale del visibile trasmesso è del 14%, entro i limiti previsti.

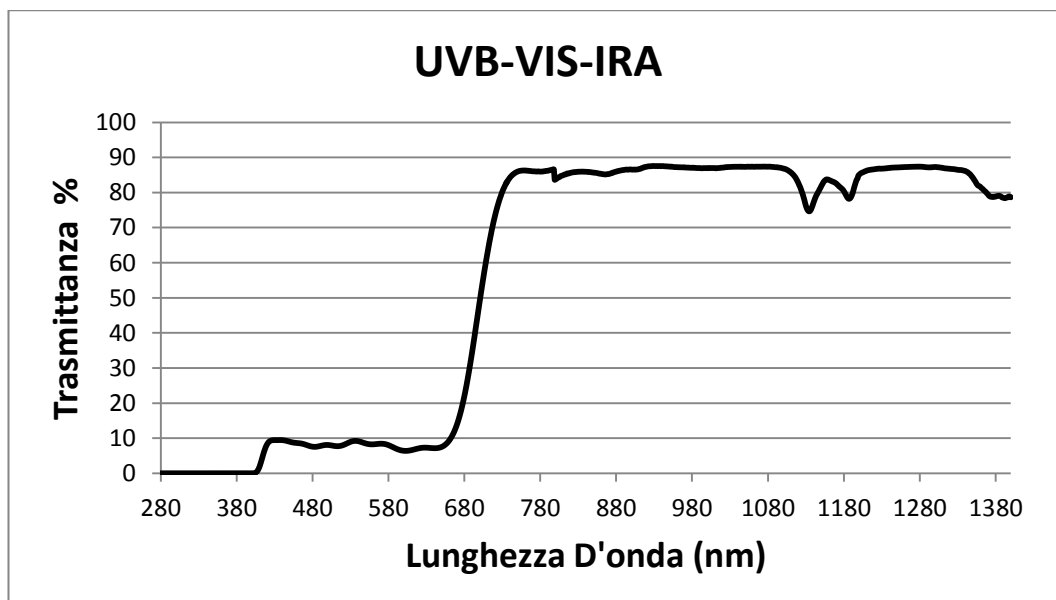


Ottimo l'assorbimento di UVB e UVA, la trasmittanza di infrarosso supera di gran lunga il 18% consentito, attestandosi attorno al 90% e superando così i limiti previsti.

Grigio n.3

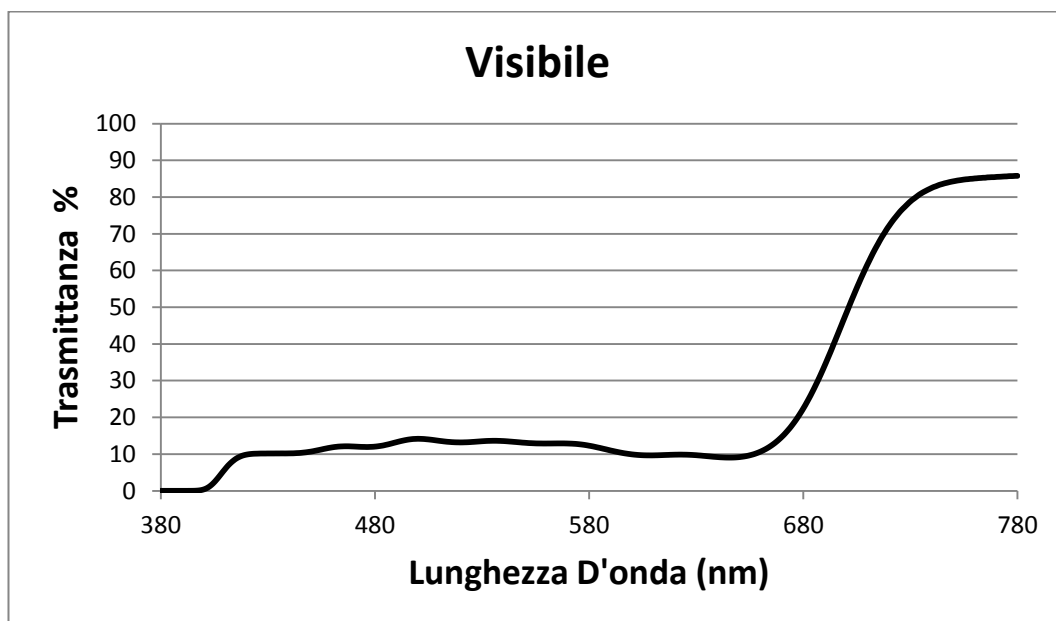


La curva di trasmittanza segue l'andamento previsto per questo tipo di filtro, mostrando una brusca impennata dopo i 650 nm. La percentuale del visibile trasmessa è all'8%, perfettamente dentro i limiti previsti.

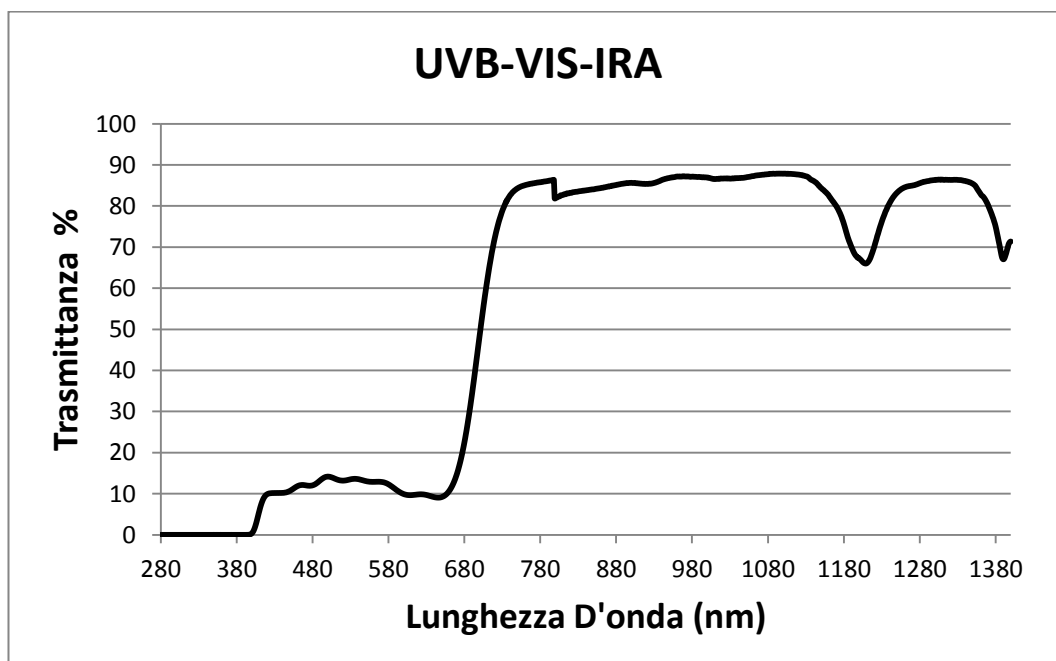


Ottimo l'assorbimento di tutti gli ultravioletti, la trasmittabilità dell'infrarosso supera però il 18% consentito, rimanendo stabilmente circa al 90%

Grigio Verde

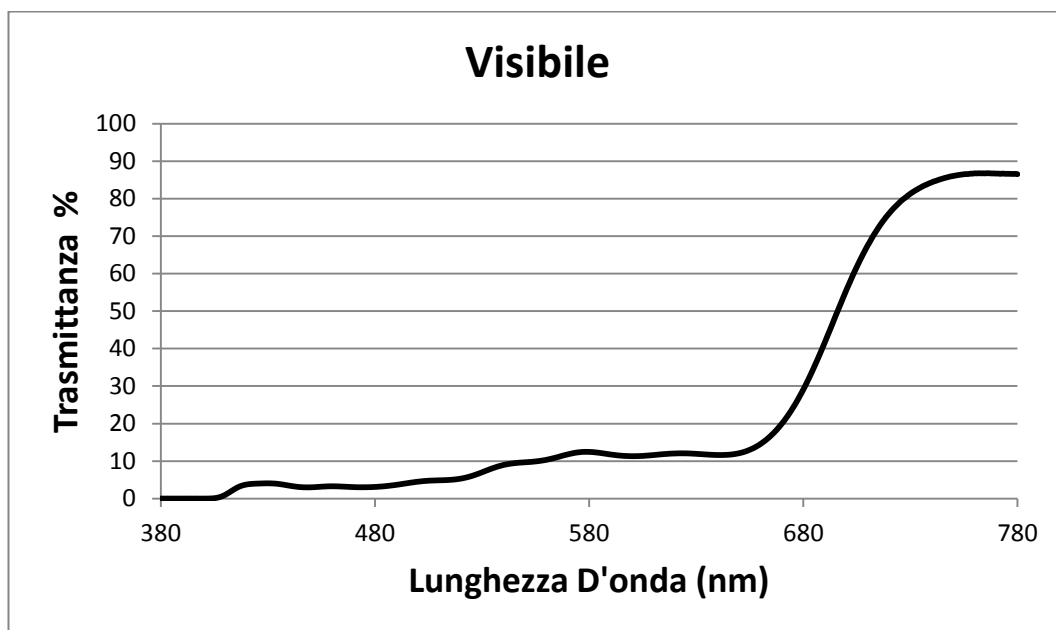


Anche in questo caso la vera colorazione del filtro è un misto grigio-verde. La curva di trasmittanza rimane stabile fino ai 650 nm, poi mostra una brusca impennata nella parte finale del range. La percentuale del visibile si mantiene attorno al 12%, in linea con le normative.

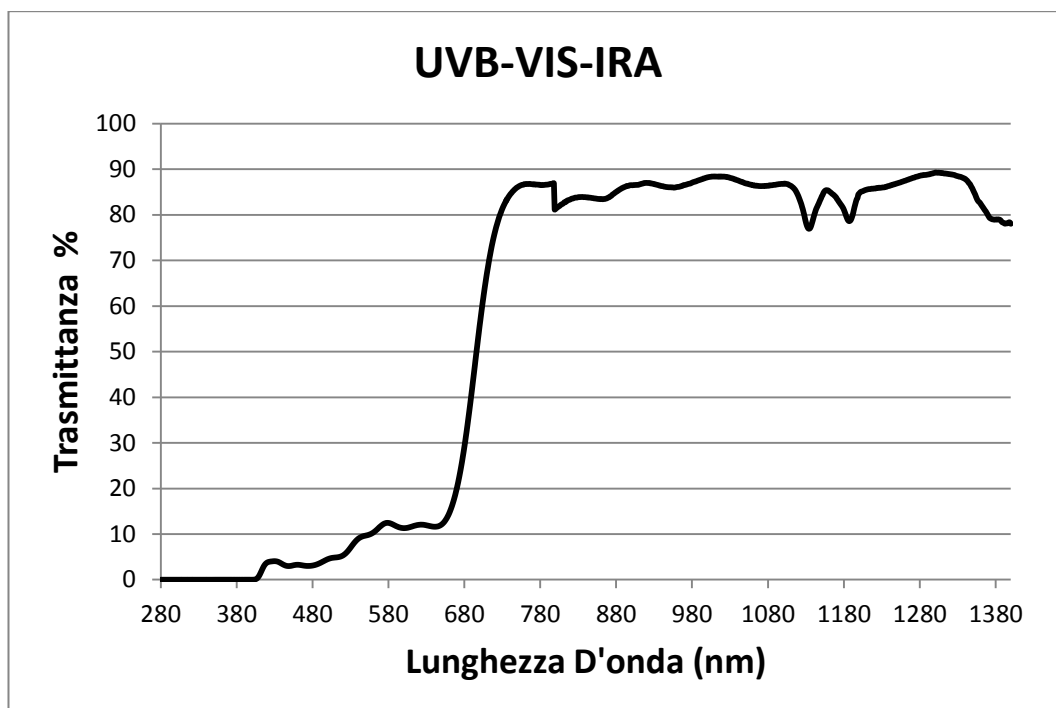


Ottimo assorbimento degli UV, la trasmittanza degli IRA supera il limite consentito, mantenendosi stabilmente attorno al 90%.

Marrone n.1

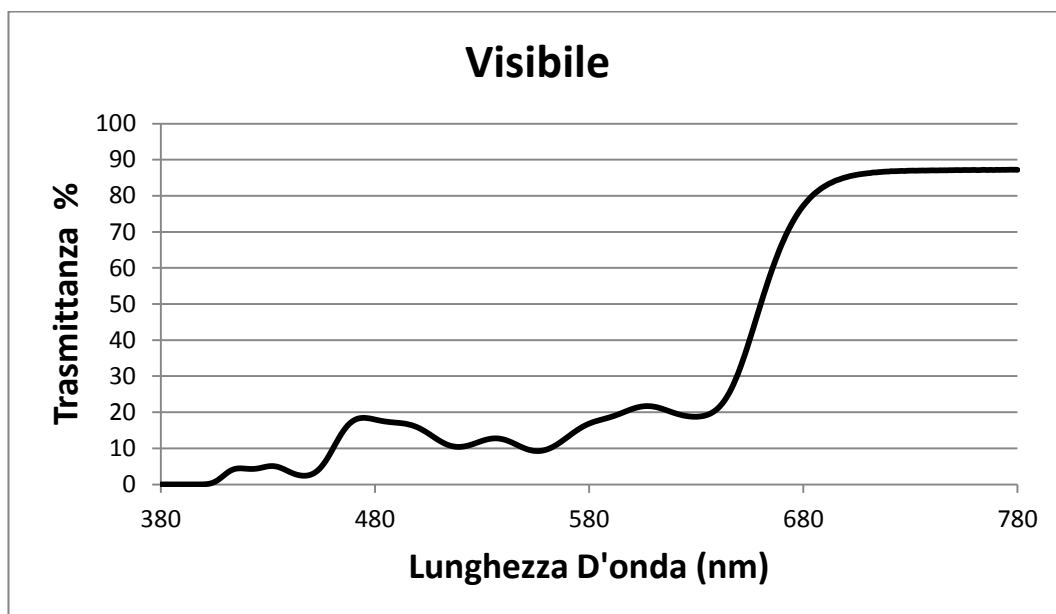


Anche in questo la curva rimane stabile fino ai 650 nm, per poi innalzarsi bruscamente nella parte finale del range. Bene la percentuale del visibile trasmessa, che si attesta attorno al 9%, perfettamente in linea con la normativa.

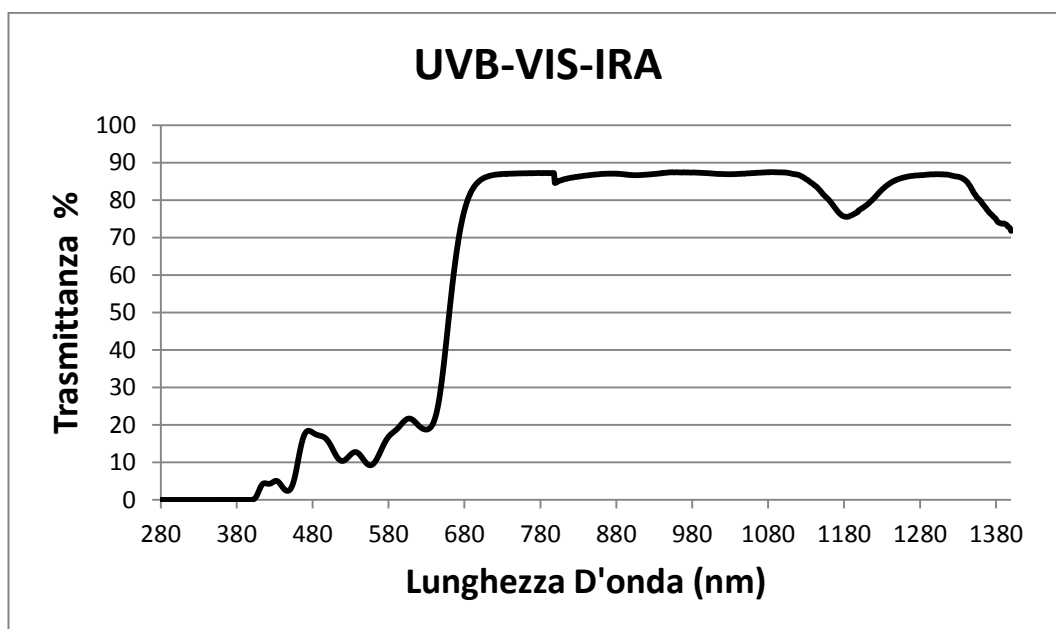


L'assorbimento degli UV è in linea con i parametri previsti, non così per infrarosso che si mantiene stabilmente attorno al 90%, oltre i limiti previsti.

Marrone n.2



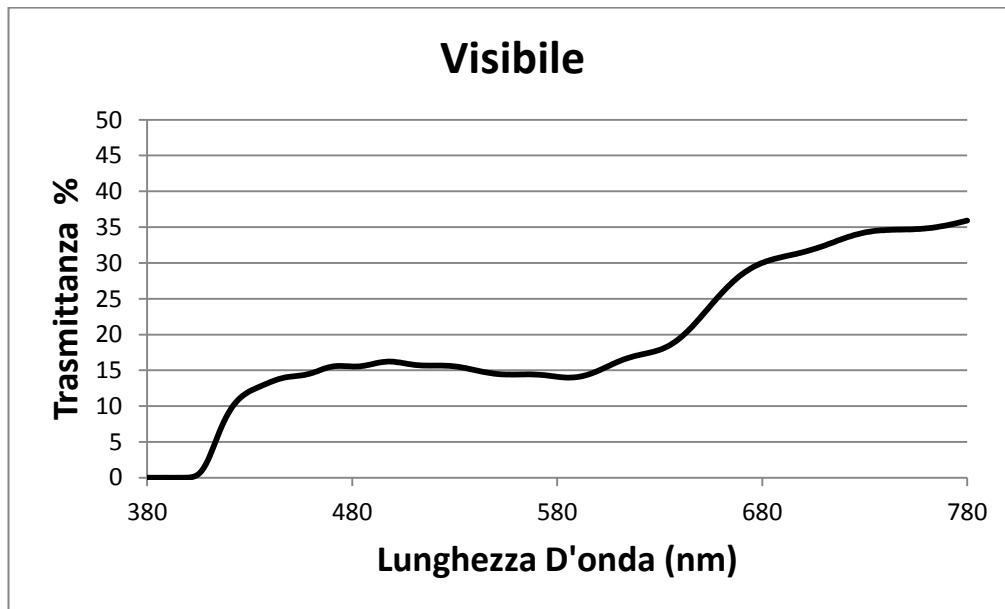
La curva di trasmittanza si mantiene stabile fino ai 650 nm, per poi bruscamente salire fino all'infrarosso. La percentuale del visibile si attesta attorno al 15%, entro i limiti previsti.



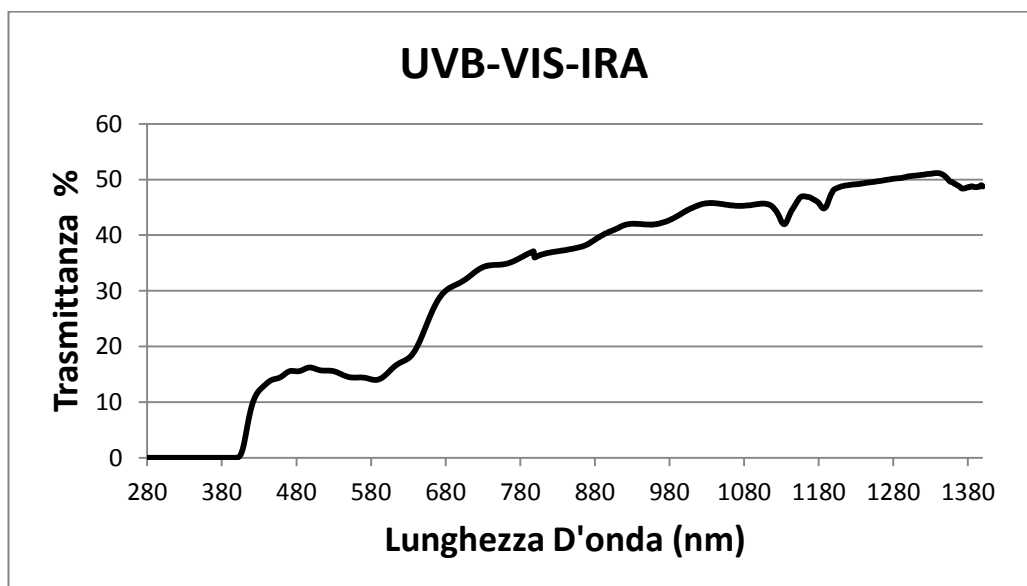
Ottimo l'assorbimento di UV, la trasmittanza di infrarosso eccede il limite del 18% consentito, attestandosi attorno al 90%.

All'interno della sezione riguardante i filtri in Policarbonato sono stati analizzati due filtri destinati ai bambini, entrambi di colore grigio categoria 3. Vediamo i risultati

Grigio n.1

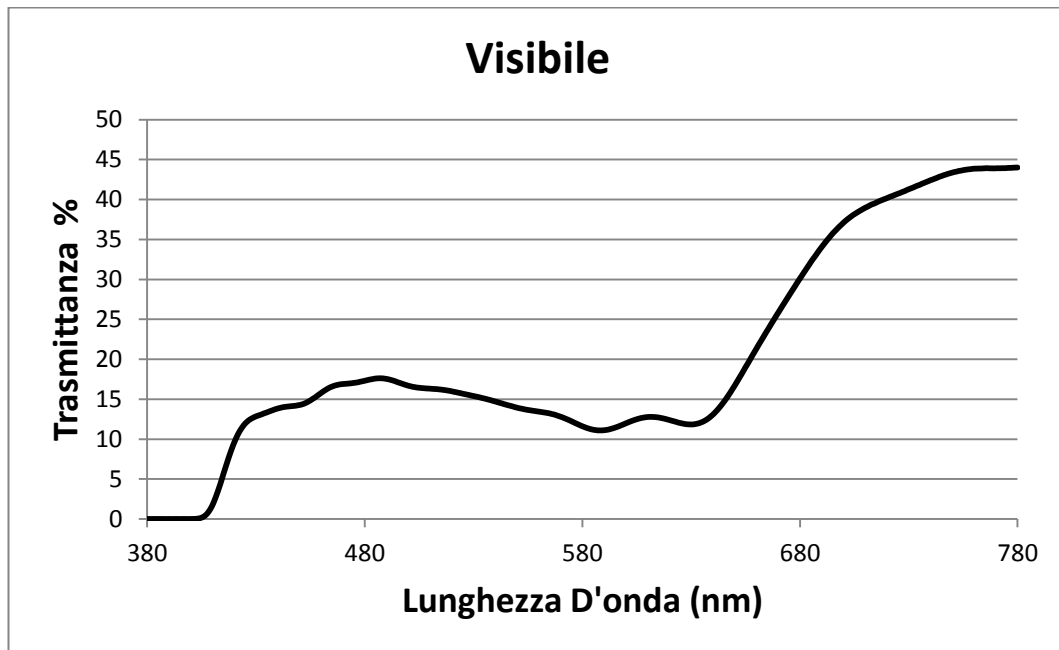


La curva di trasmittanza rispecchia l'andamento classico del grigio, con un progressivo incremento all'avvicinarsi dell'infrarosso. Bene la percentuale del visibile trasmesso, il cui valore del 15% è dentro i limiti normativi.

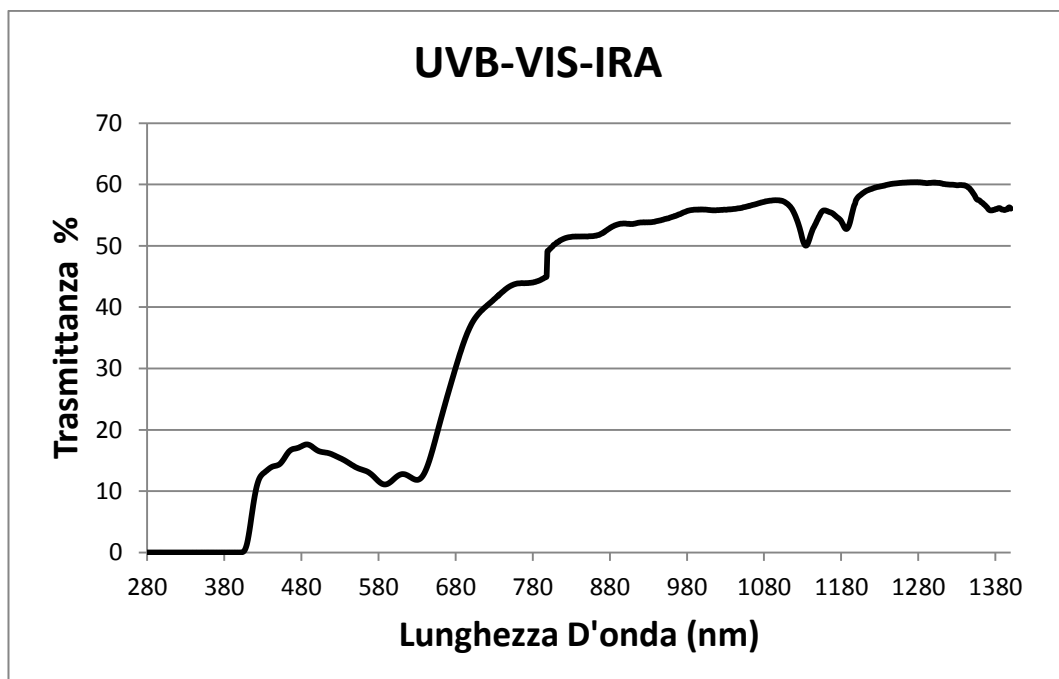


Ottimo assorbimento degli UV, non è ottimale la trasmittanza degli infrarossi, poiché raggiungendo il 50% supera i limiti normativi.

Grigio n.2



La curva di trasmittanza presenta un progressivo incremento verso l'infrarosso. Buona la percentuale di visibile trasmesso, il cui valore del 14% è in linea con le normative.



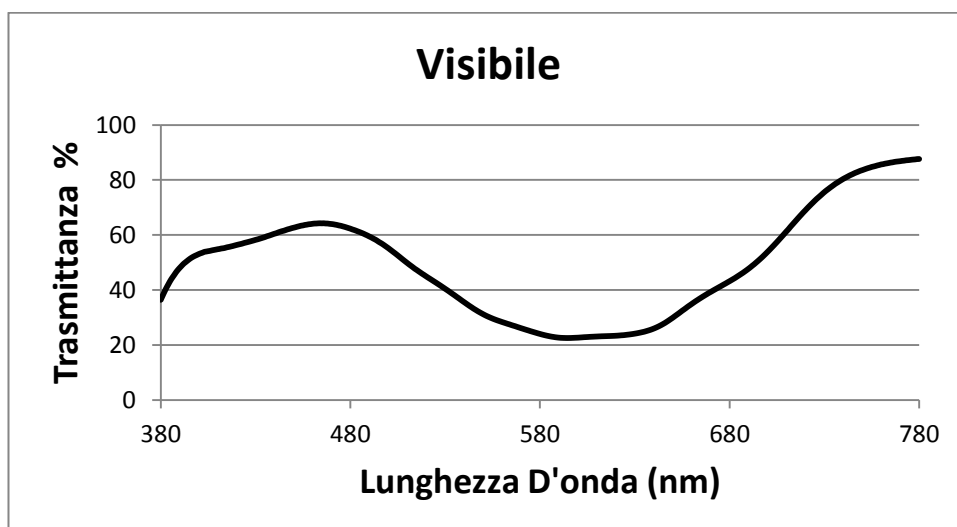
Ottimo assorbimento di UVB e UVA, non va bene la trasmittanza dell'infrarosso, che raggiungendo il 60% supera i limiti previsti.

Analisi Filtri Categoria 2 e Categoria 1

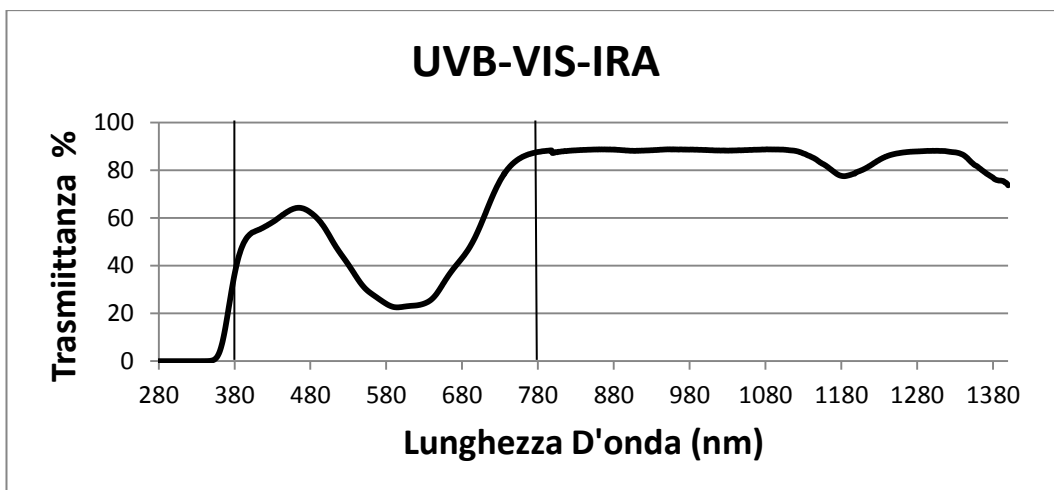
In questa sezione analizziamo filtri di categoria 2 e 1, a differenza degli altri fin qui analizzati tutti di categoria 3. Il materiale dei tre filtri è il CR39, i colori scelti non appartengono alle tre categorie grigio-verde-marrone, e questo rende più interessante l'analisi.

Categoria 2

Blu



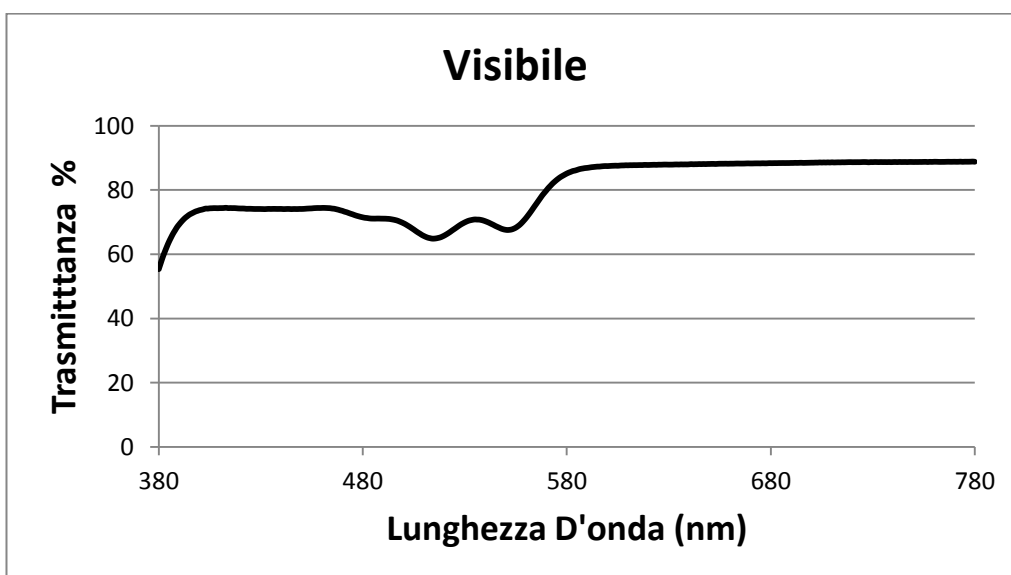
La curva di trasmittanza segue il tipico andamento del colore blu, con un basso assorbimento nella parte iniziale del range visivo, un calo trasmissivo al centro e una successiva impennata. La percentuale di visibile trasmesso è del 34%, quindi dentro il limite previsto del 43%.



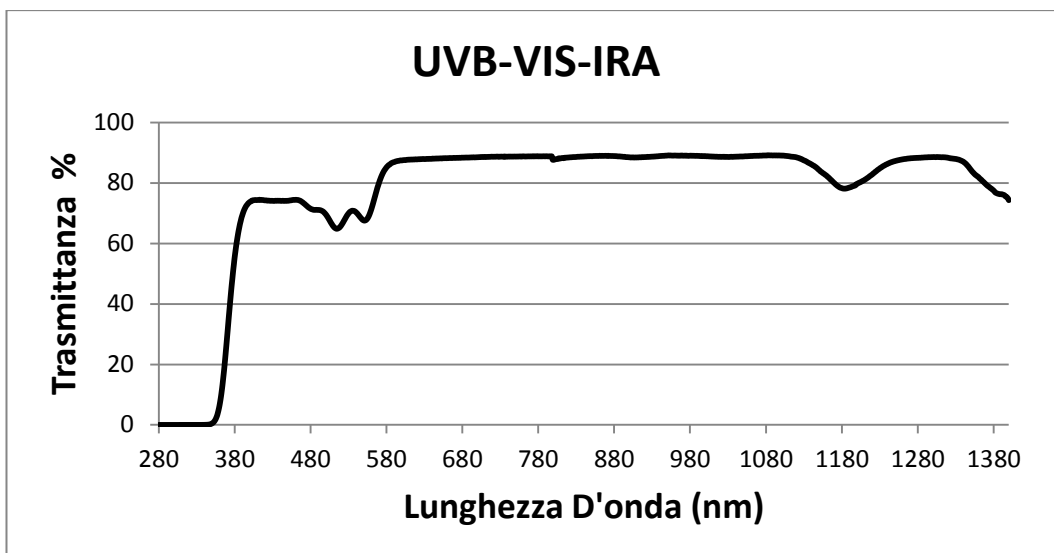
Solamente l'assorbimento degli UVB è in linea con i parametri, mentre per quanto riguarda l'UVA verso quota 375 nm la trasmissibilità supera il limite del 22%, di poco oltre i limiti. La trasmissanza degli IRA supera il 43% massimo consentito, attestandosi attorno al 90%.

Categoria 1

Rosa

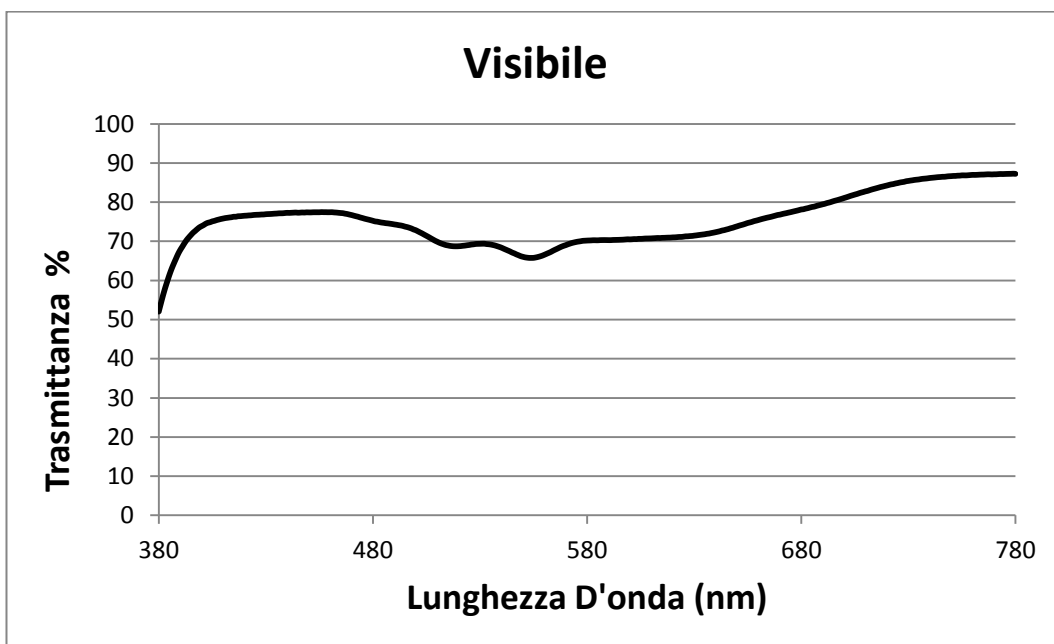


La curva di trasmissanza si mantiene stabilmente al di sopra del 50%. La percentuale del visibile trasmesso è dell'76%, quindi entro il limite massimo dell'80% previsto dalla normativa.

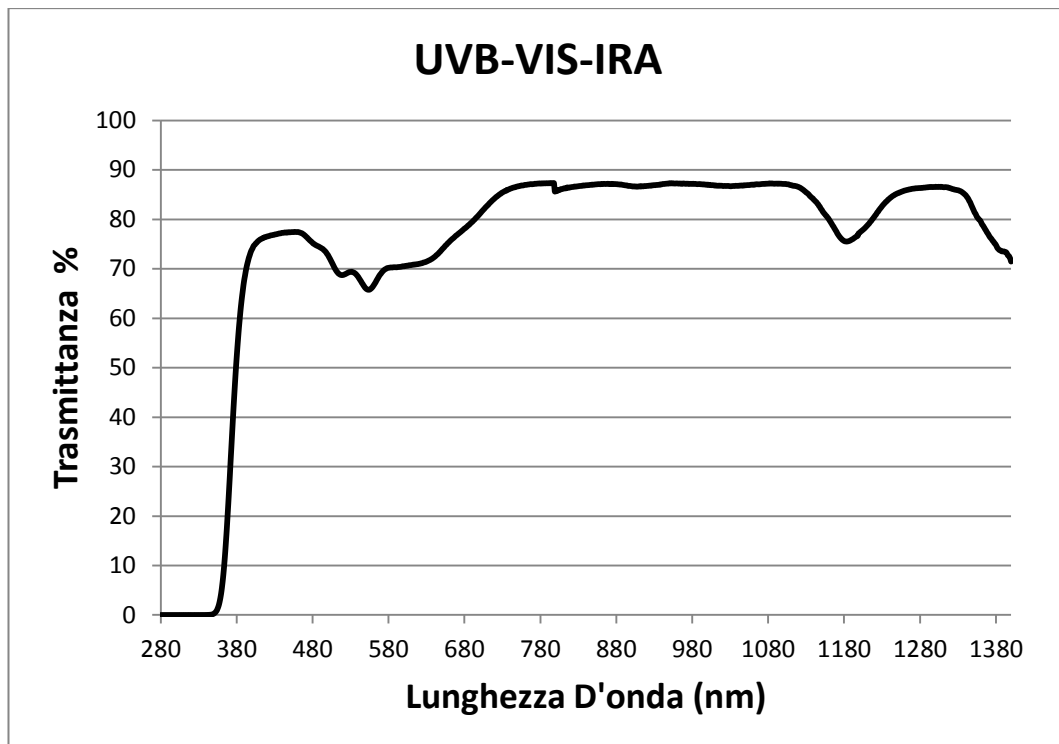


Bene l'assorbimento degli UVB, non perfetto quello degli UVA, che dopo i 370 nm ha una trasmittanza superiore al 22% consentito. L'infrarosso supera l'80% consentito attestandosi attorno al 90%.

Viola



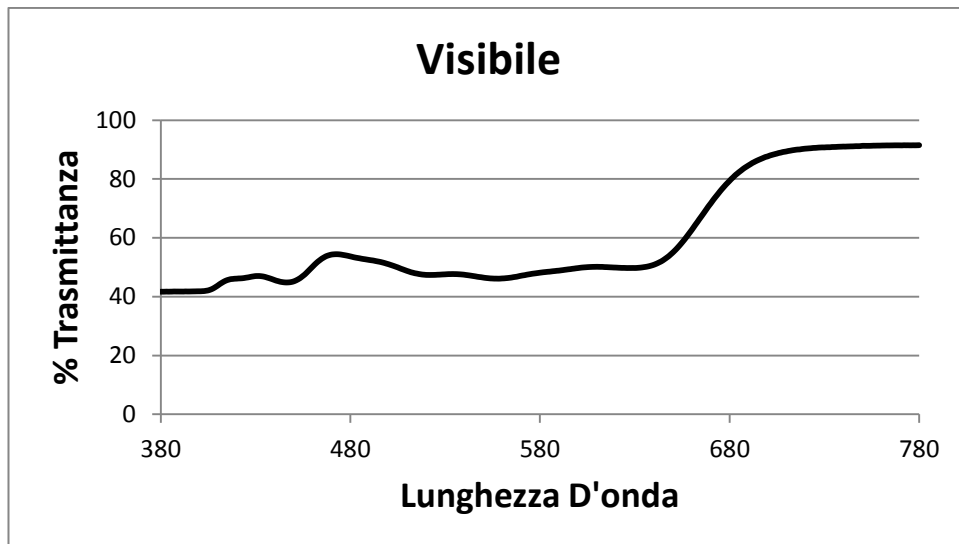
La curva di trasmittanza rimane costantemente sopra il 50% per tutto il range del visibile. La percentuale del visibile trasmesso è attorno al 70%, dentro il limite dell'80%.



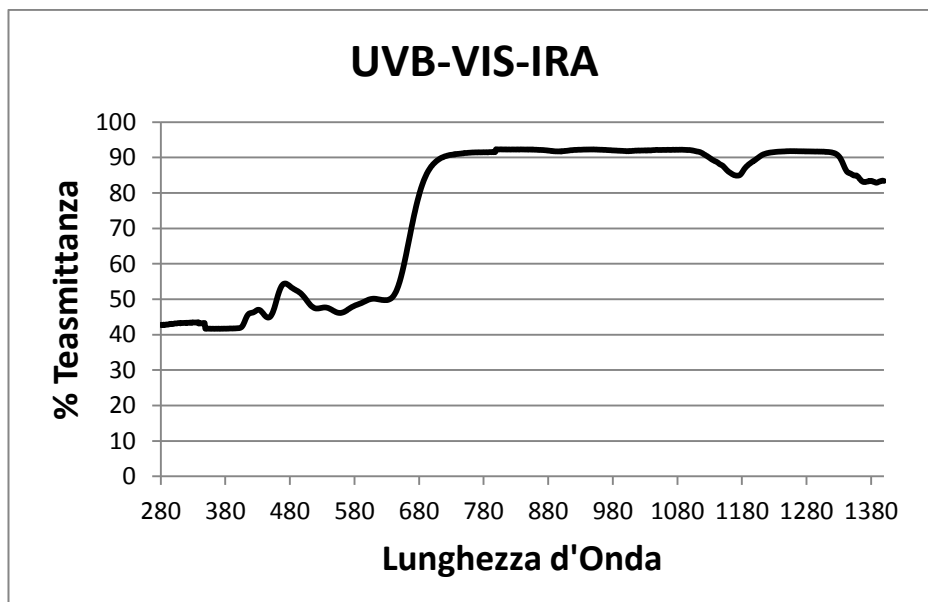
Bene l'assorbimento degli UVB, non ottimale quello degli UVA, che dopo i 370 nm ha una trasmittanza superiore al 22% consentito. L'infrarosso supera il 78% consentito, attestandosi attorno al 90%.

L'ultimo filtro analizzato appartiene ad un occhiale da sole acquistato da rivenditori non autorizzati e quindi non rispettoso nelle norme costruttive. Il materiale del filtro è il Policarbonato, la categoria di appartenenza sembra essere la numero 2.

Viola Fuori Norma



Il filtro analizzato sembra appartenere alla categoria 2. La percentuale del visibile trasmessa supera il 43% come limite massimo previsto attestandosi attorno al 48%, quindi è fuori norma

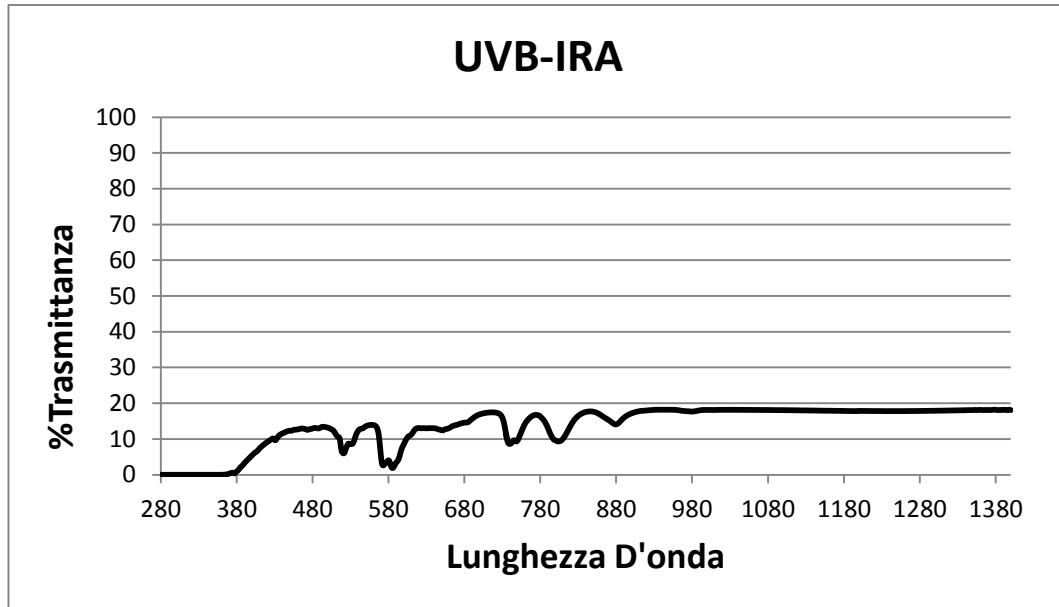


Assolutamente anormali i valori degli ultravioletti, la cui percentuale di trasmittanza rende praticamente il filtro senza un'adeguata protezione nei confronti di questo tipo di radiazioni.

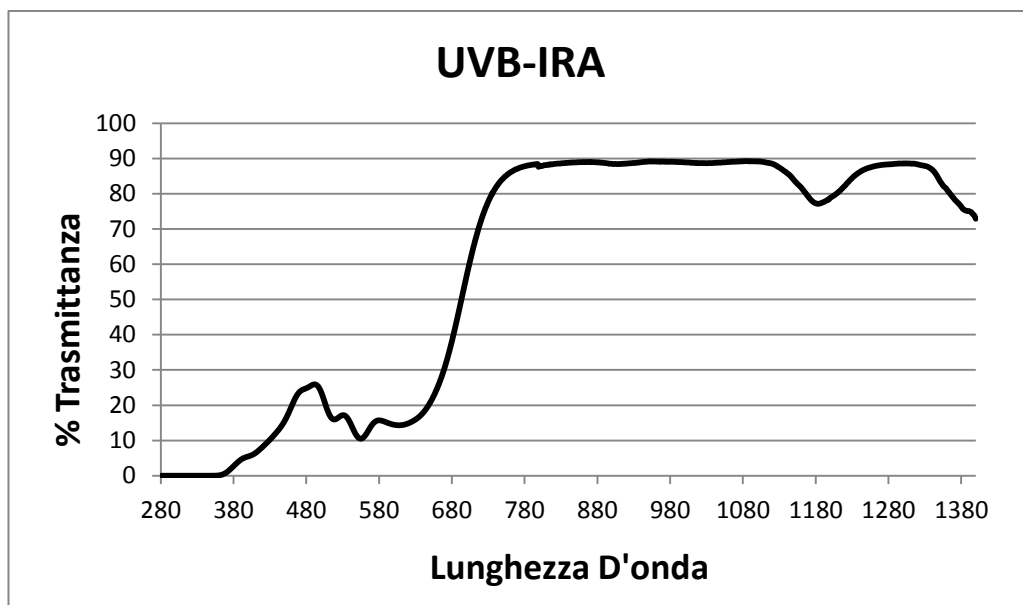
RIEPILOGO FILTRI ANALIZZATI

COLORE GRIGIO

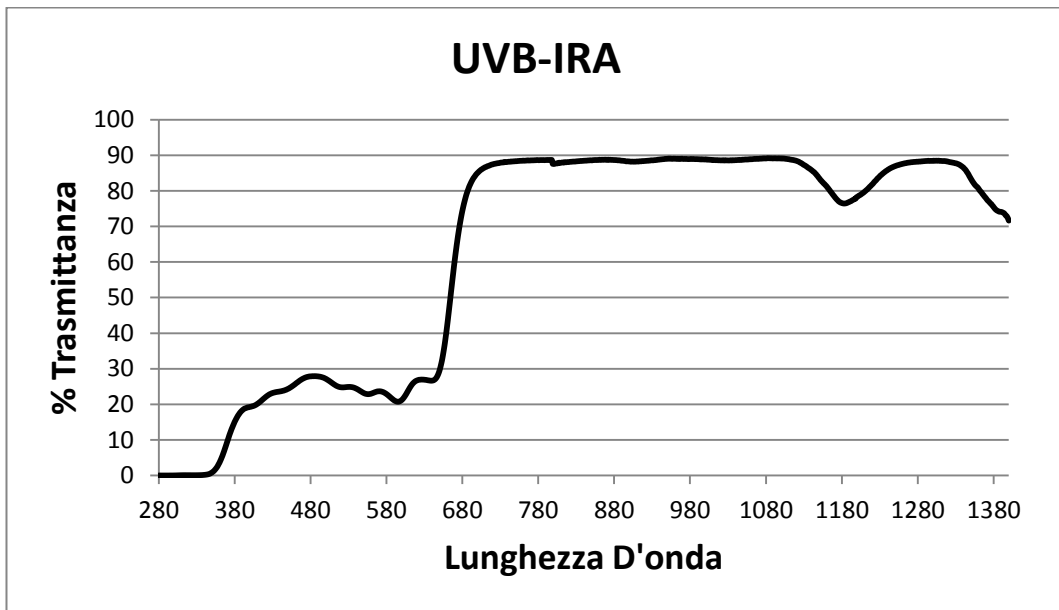
Vetro



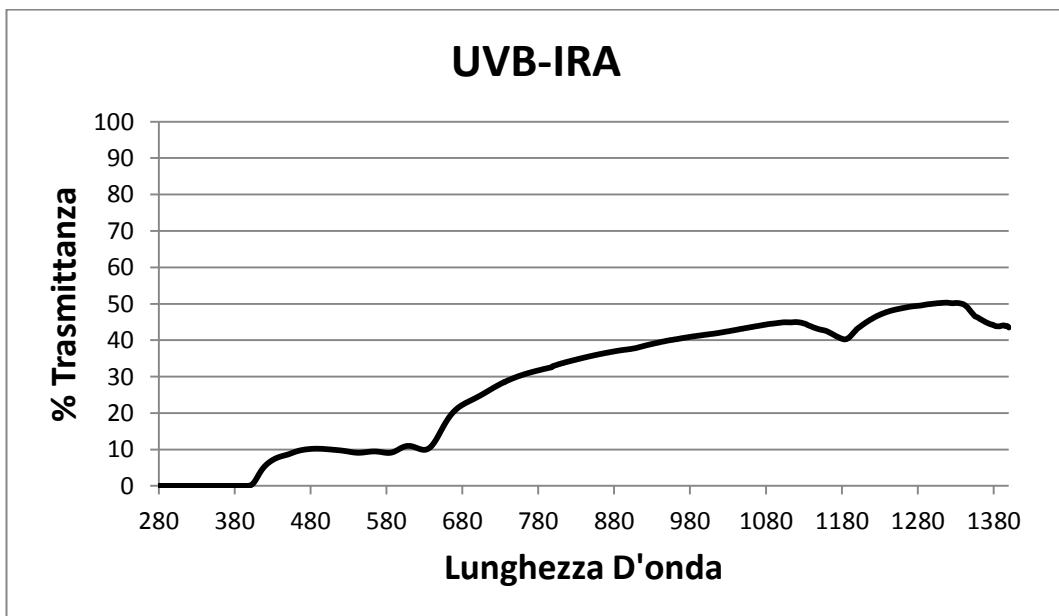
Cr39 n.1



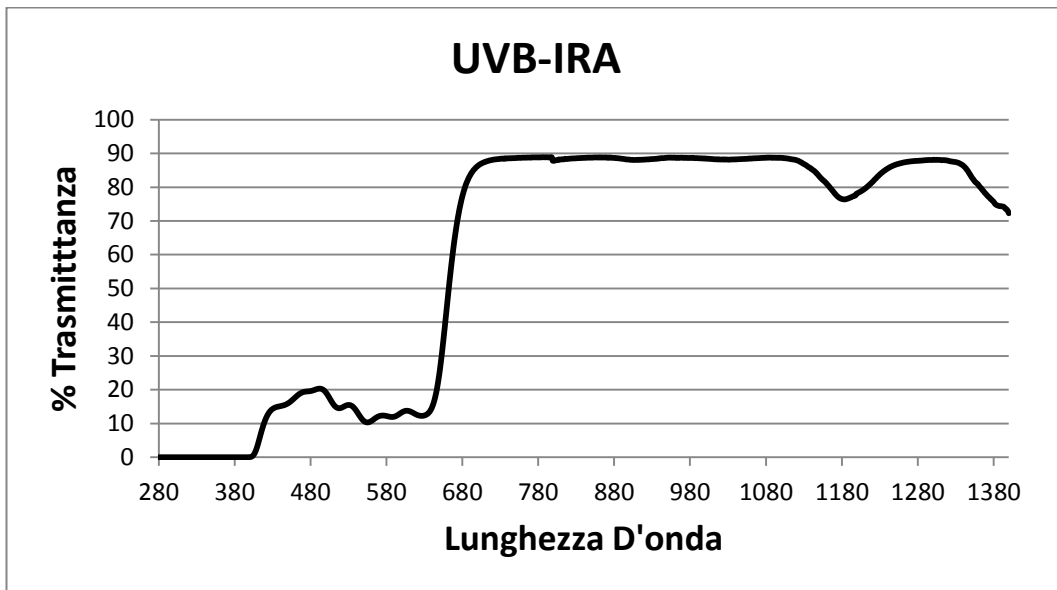
Cr39 n.2



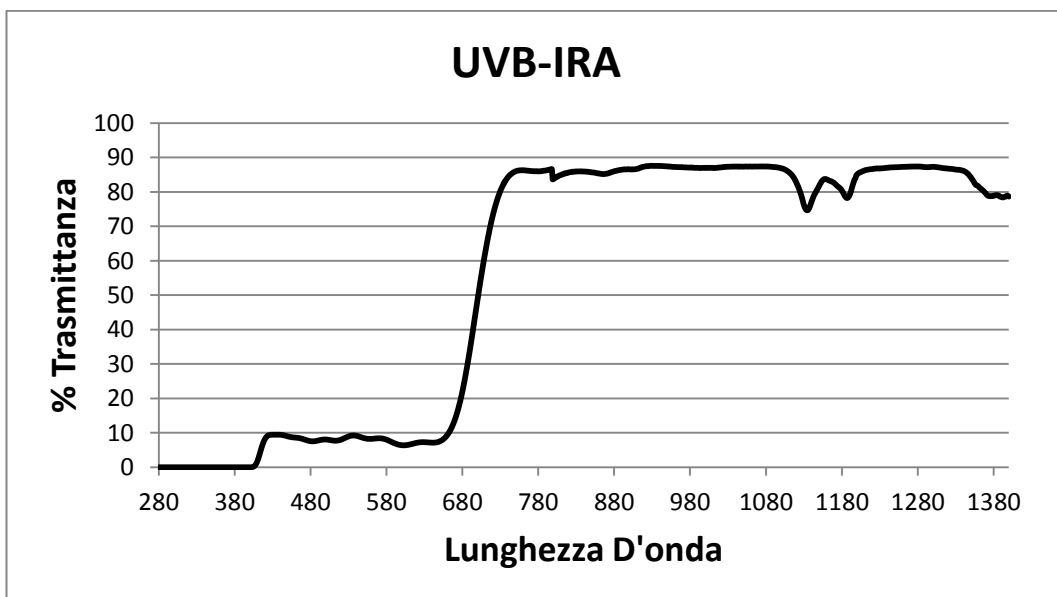
Policarbonato n.1



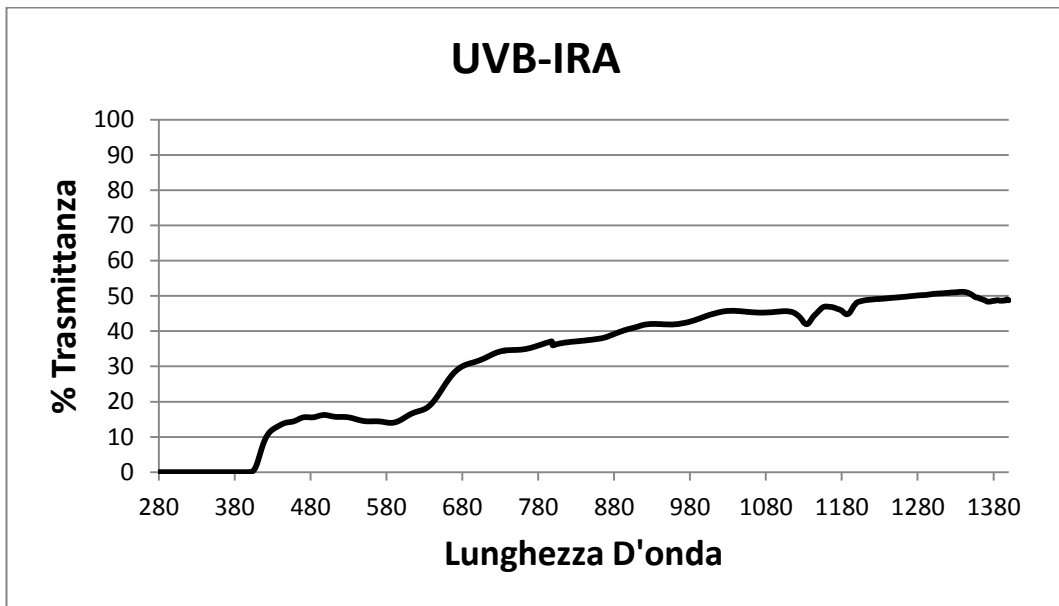
Policarbonato n.2



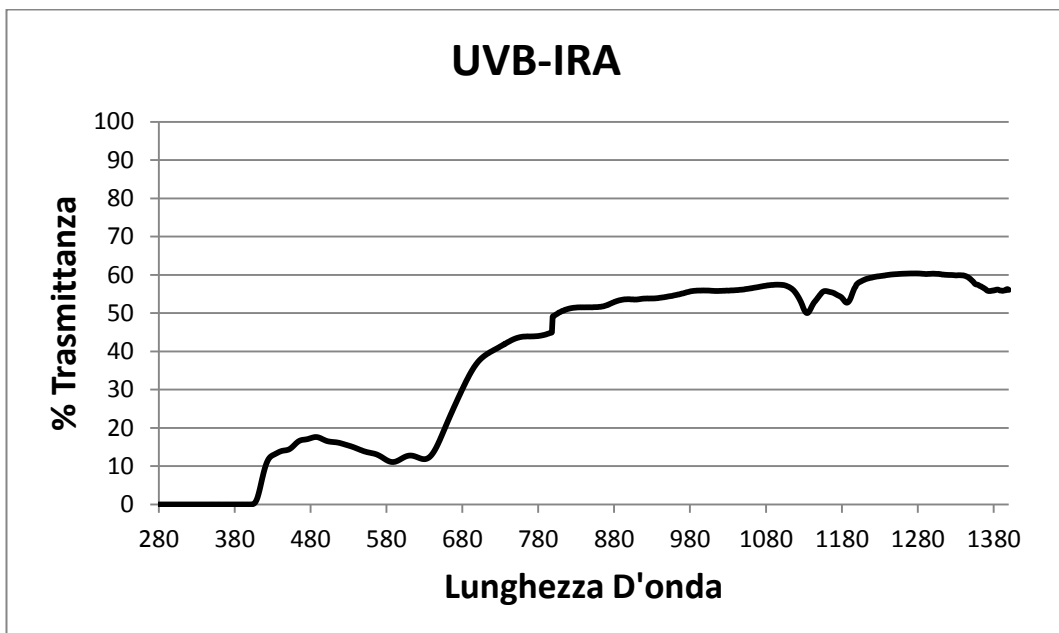
Policarbonato n.3



Policarbonato per Bambini n.1

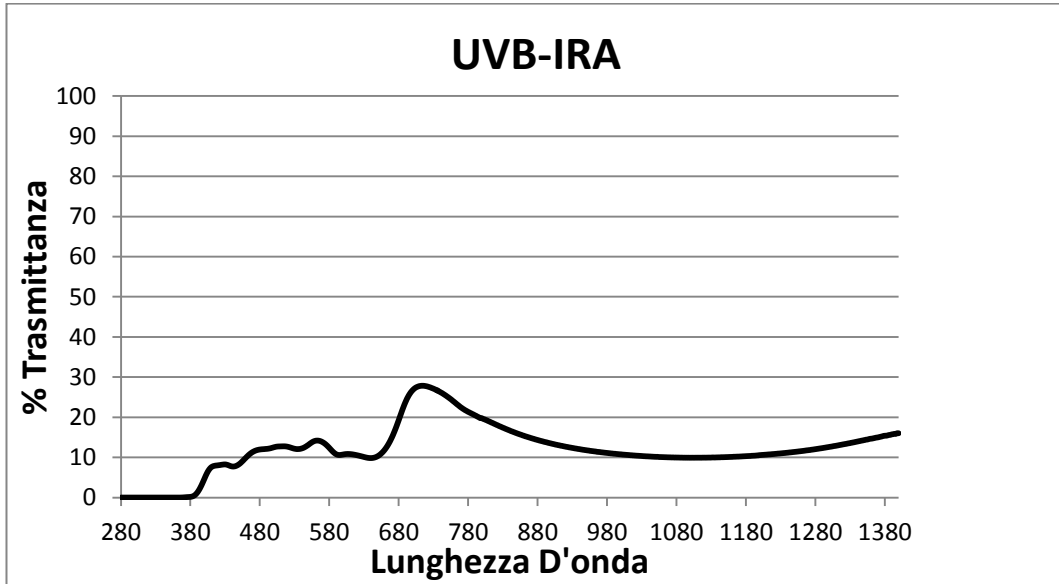


Policarbonato per bambini n.2

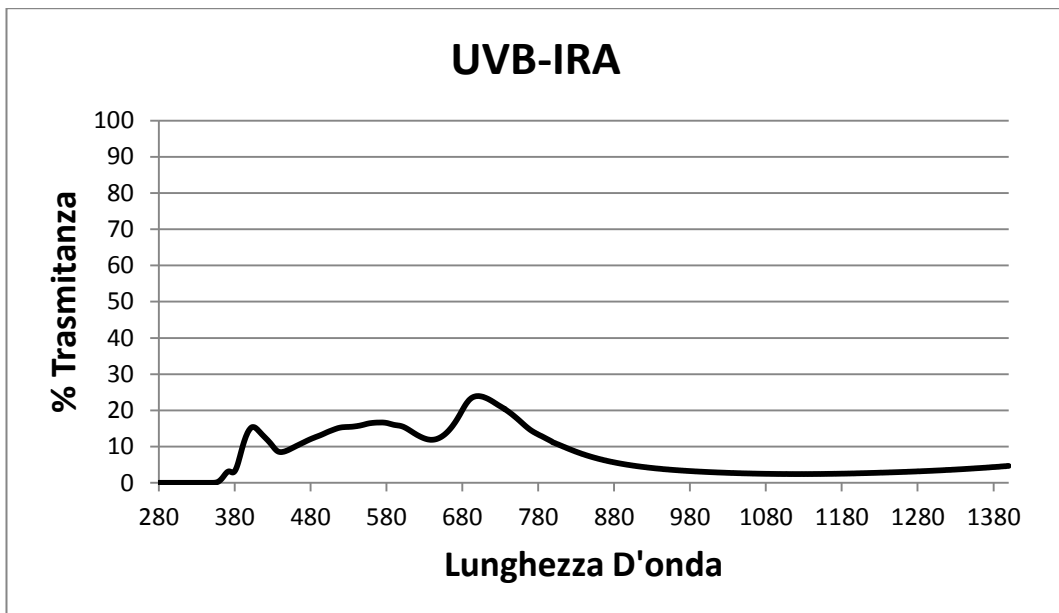


COLORE GRIGIO VERDE

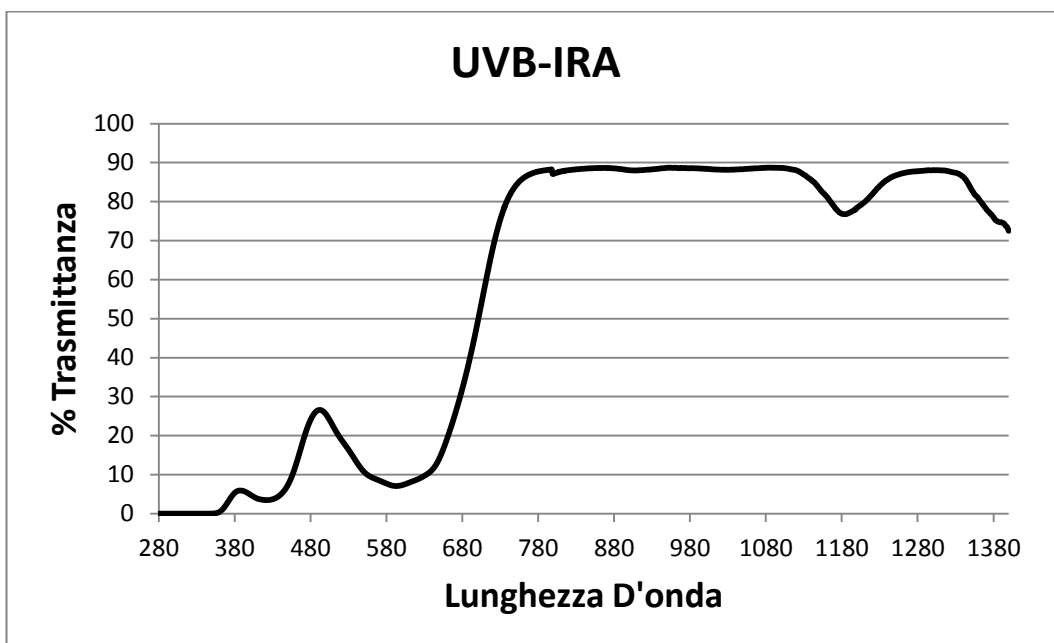
Vetro n.1



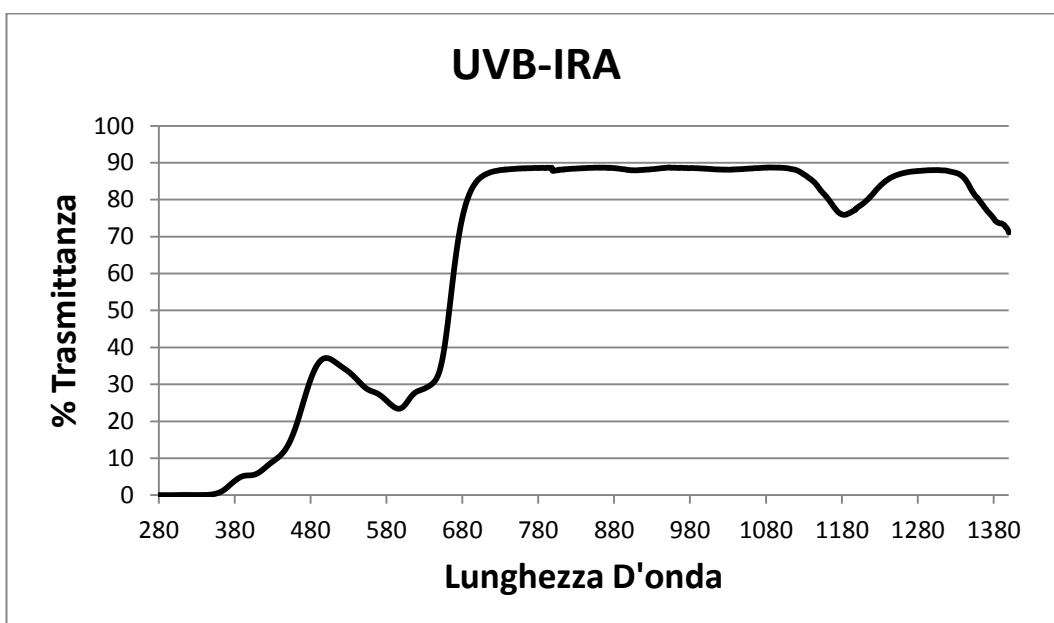
Vetro n.2



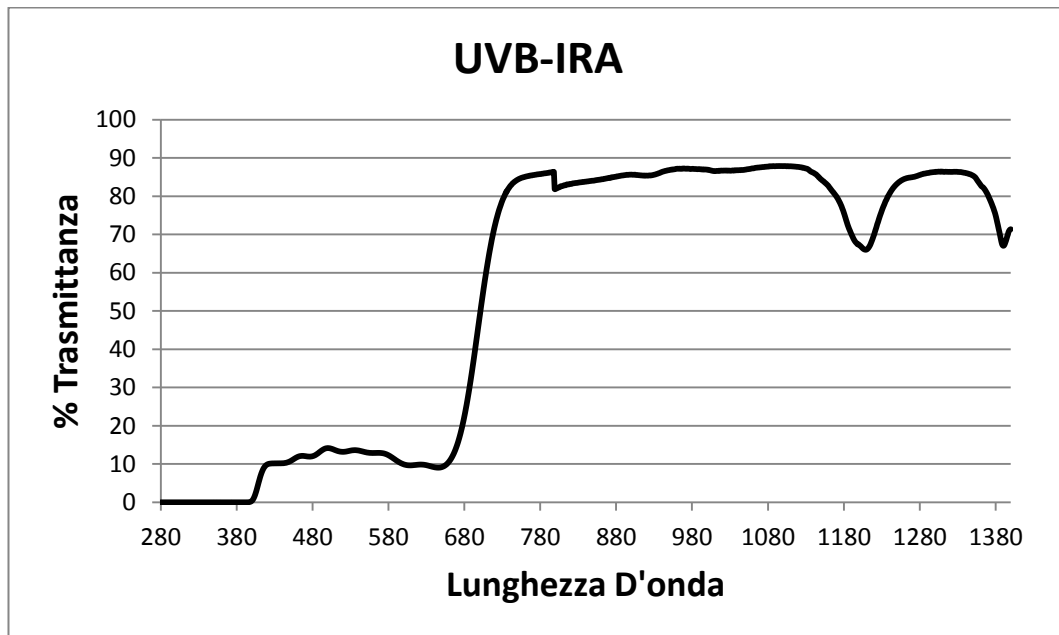
Cr39 n.1



Cr39 n.2

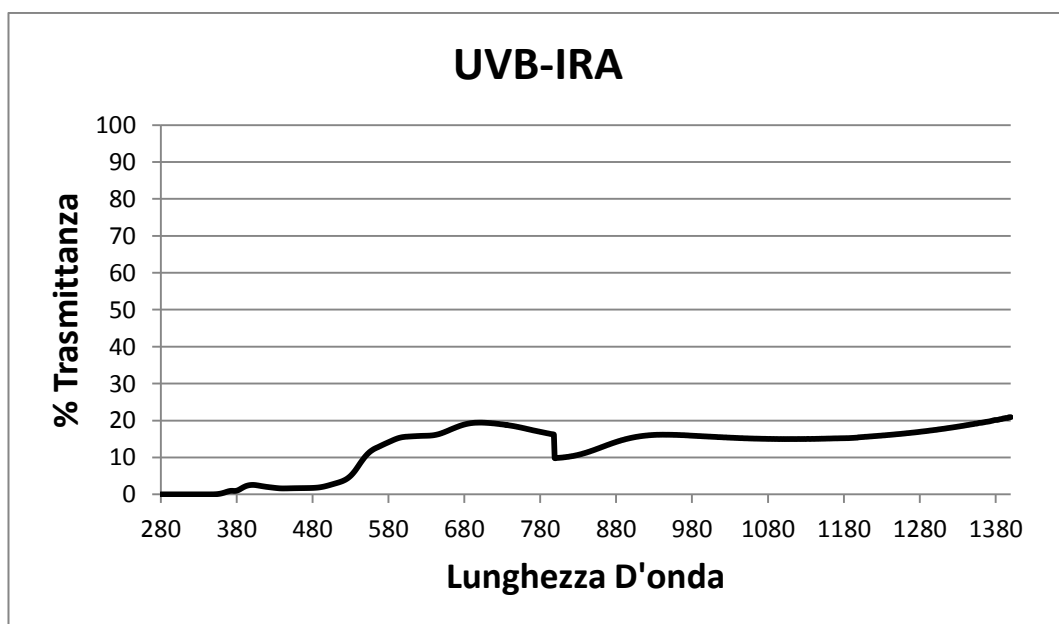


Policarbonato

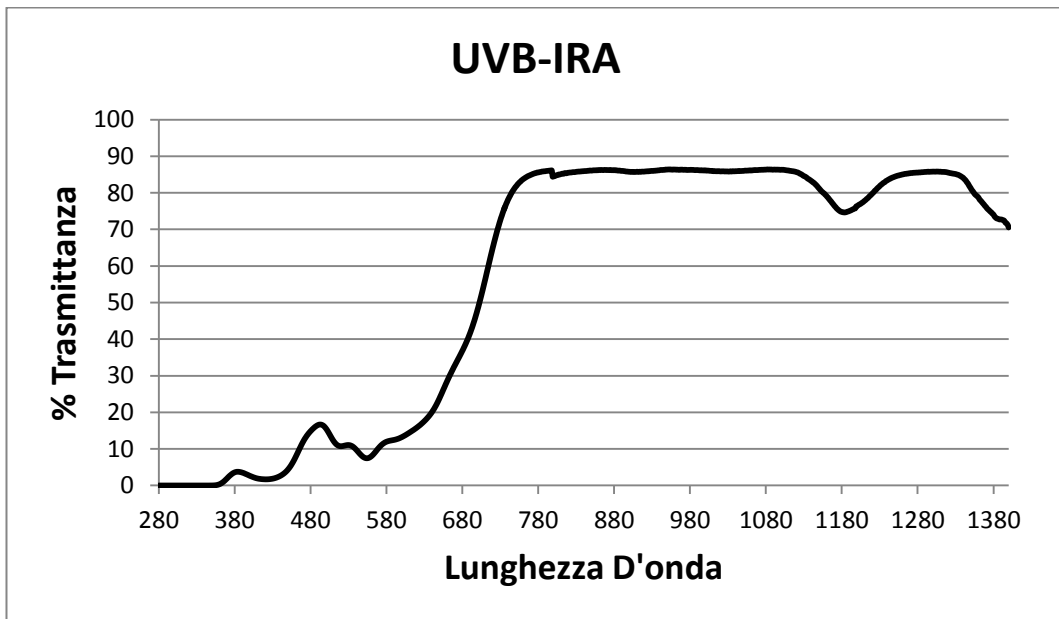


COLORE MARRONE

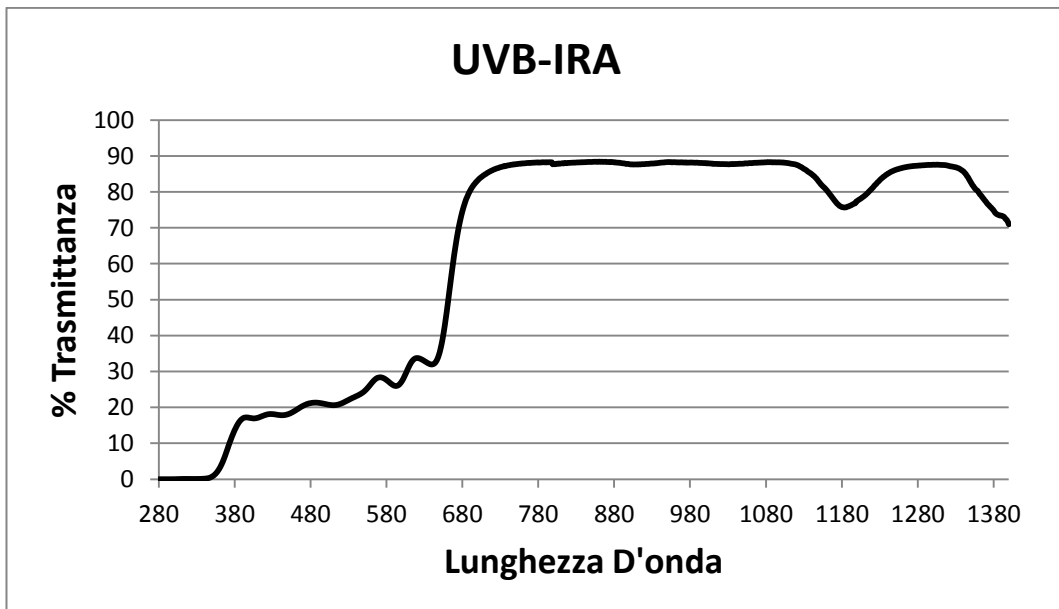
Vetro



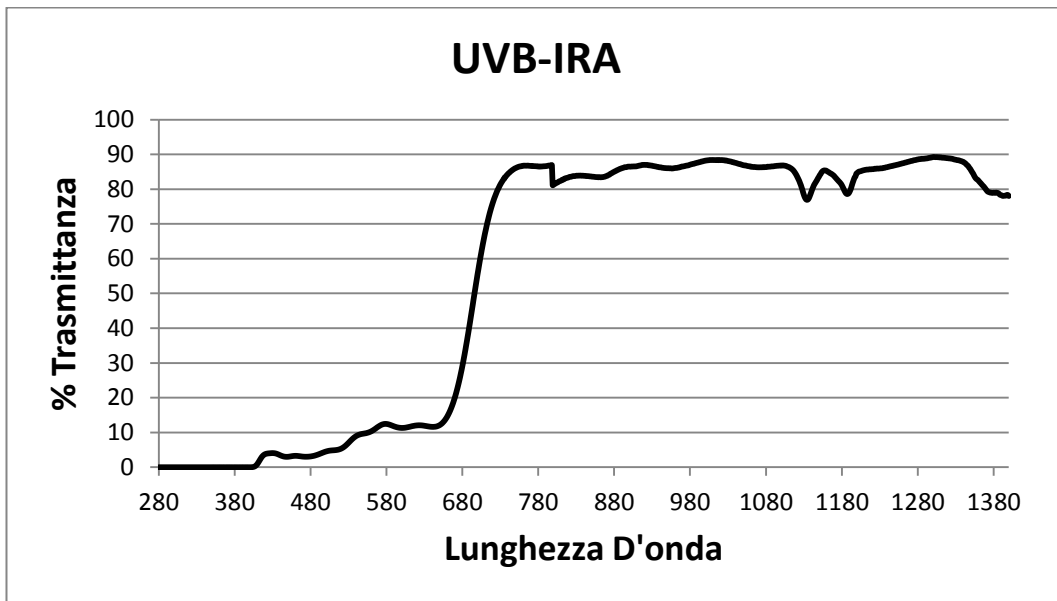
Cr39 n.1



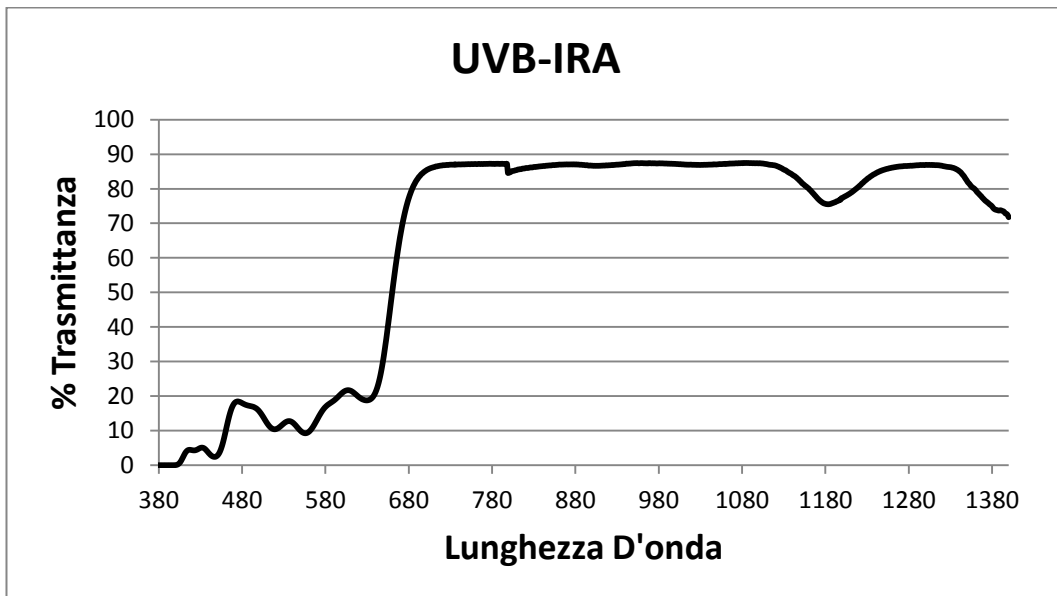
Cr39 n.2



Policarbonato n.1

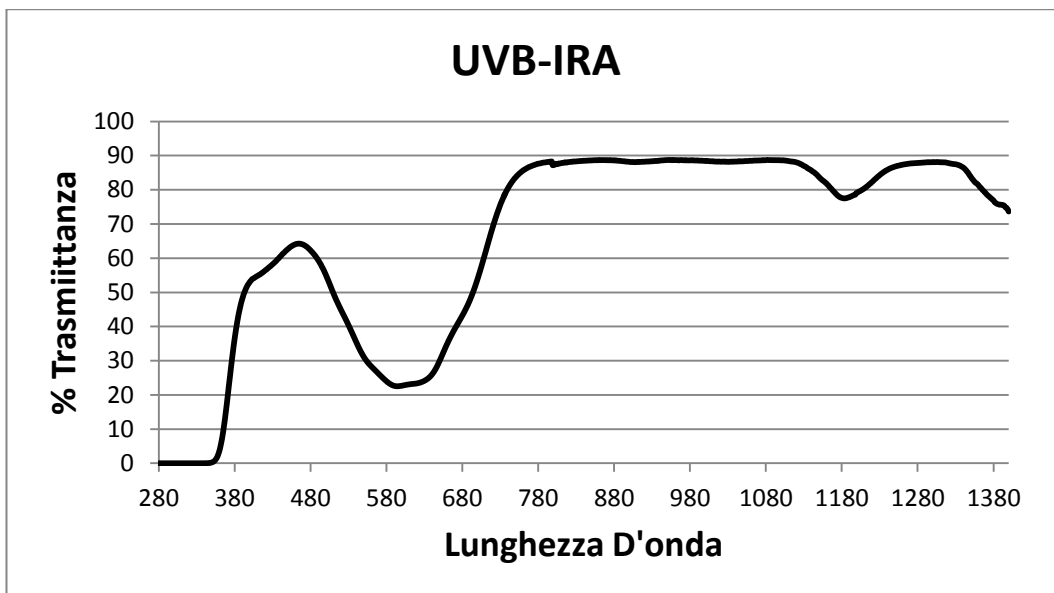


Policarbonato n.2



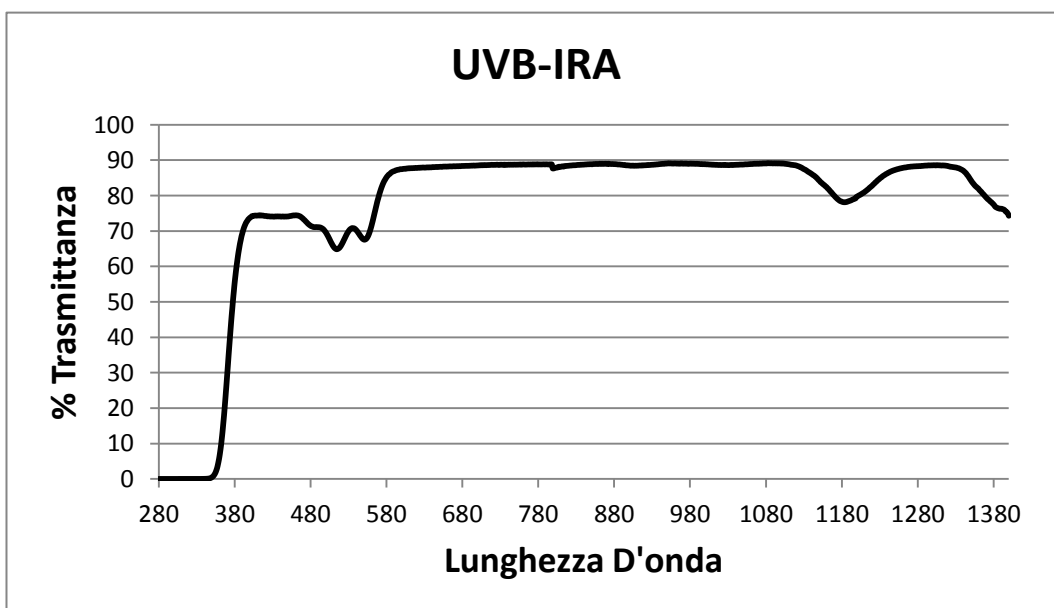
COLORE BLU

Cr39



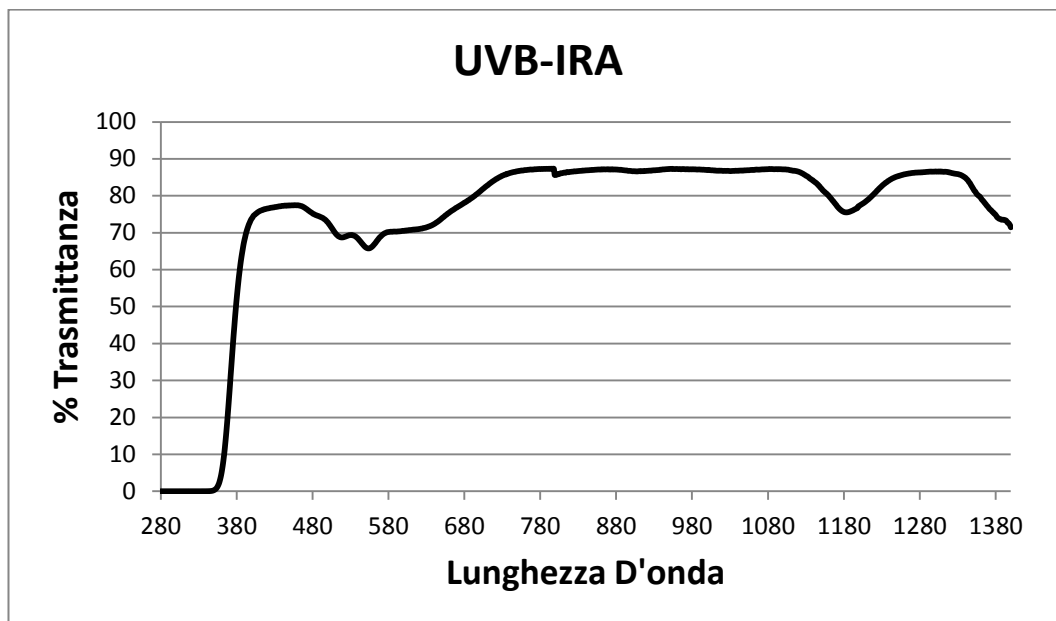
COLORE ROSA

Cr39

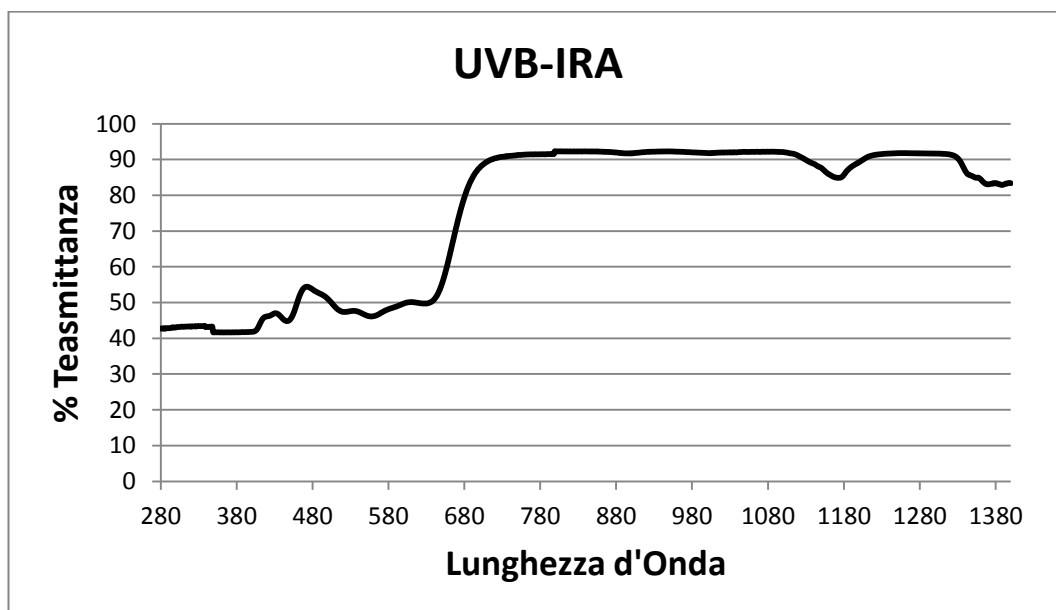


COLORE VIOLA

Cr39

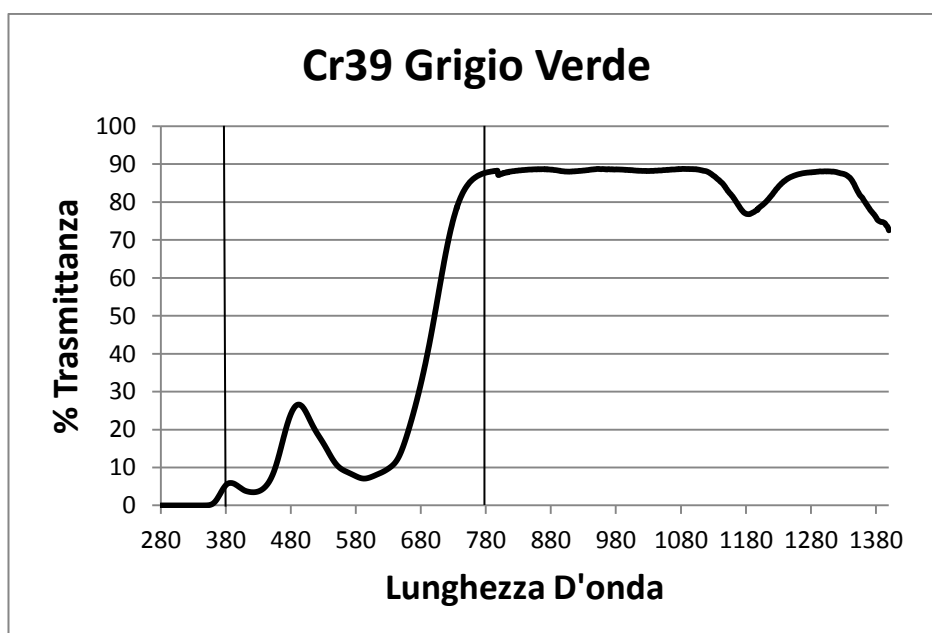
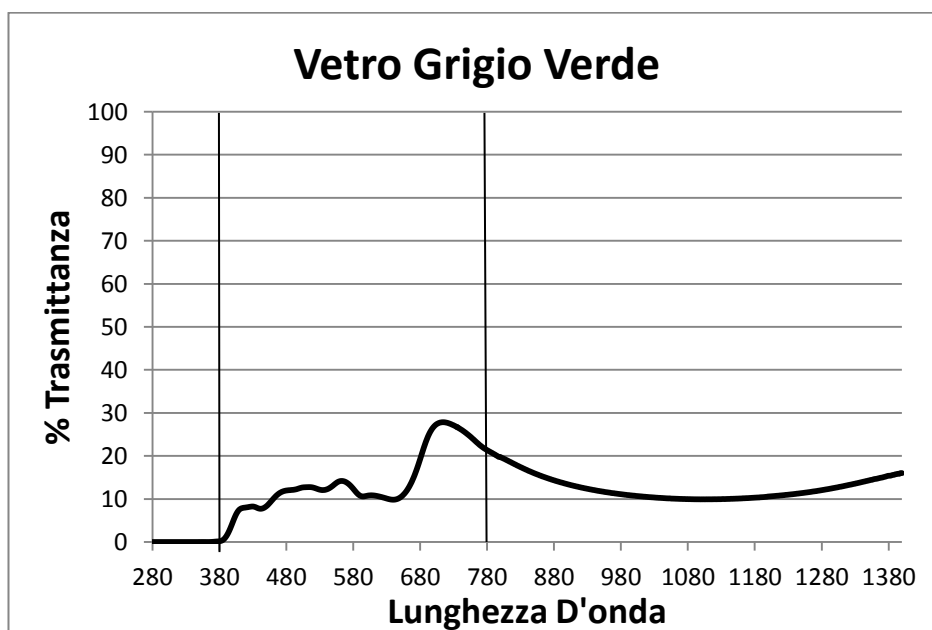


Policarbonato (Filtro fuori norma)



CONCLUSIONI

In definitiva i dati ricavati durante questa analisi denotano un complessivo rispetto delle normative per quanto riguarda l'assorbimento dei raggi ultravioletti, come pure le percentuali della trasmittanza rientrano nei limiti previsti per le rispettive classi di appartenenza. Quello che invece non viene sempre rispettato è un corretto assorbimento dei raggi infrarossi, e i grafici sottostanti lo testimoniano in pieno



Siamo di fronte a due grafici di filtri del medesimo colore, ovvero il Grigio Verde di categoria 3, ma di due materiali diversi: il primo è in Vetro Crown, il secondo è in Cr39. L'assorbimento degli UV rientra nelle norme per entrambi i filtri, ma già nella trasmittanza del visibile (sempre rispettosa dei limiti, comunque), si nota una differenza, visto che l'andamento della curva del filtro in cr39 denota un netto aumento a partire dai 600 nm in avanti, mentre rimane molto più stabile nel caso del vetro. A partire dalla regione dell'infrarosso ecco che la differenza diviene netta: il filtro in cr39 permette il passaggio di più dell'80% degli IR, mentre per quanto riguarda il vetro si mantiene ben al di sotto del 20%. Tale differenza non può essere notata ad occhio nudo, poiché solo nelle bande invisibili alla nostra vista si verificano queste differenze spettrali. Anche tutti gli altri filtri in vetro analizzati, se confrontati con qualsiasi altro filtro in cr39 o policarbonato del medesimo colore e categoria, risultano sempre assorbire di più gli infrarossi. Tutto ciò rende nell'ambito di questa tesi i filtri in Vetro "migliori" (ma non in senso assoluto) dei filtri in Cr39 o Policarbonato.

Cosa comporta un non ottimale assorbimento degli Infrarossi? Sul breve periodo un comfort minore, poiché i tessuti oculari risultano subire un maggior riscaldamento da parte degli IR, il che rende gli occhi meno freschi e più irritati; un occhio non ben protetto dagli IR tende inoltre a percepire la luce più intensamente che come conseguenza dà luogo a fastidiose post-immagini. Sul lungo periodo un maggior quantità di infrarossi che giunge nell'occhio comporta un'accelerazione del processo di invecchiamento del cristallino, che come conseguenza finale ha l'insorgenza della cataratta; aumentano anche i rischi di possibili danni alla cornea, che può incorrere ad una progressiva perdita di trasparenza, e per la retina, nella quale è l'epitelio pigmentato ad assorbire e quindi anche a subire i possibili danni degli IR; tutto ciò aumenta il rischio di depigmentazioni ed edemi.¹⁶

Non di meno è giusto far notare come non ci sia sempre una perfetta coscienza del problema della protezione oculare da parte del portatore medio e dei benefici che se ne ricavano a medio-lungo termine per la salute dell'occhio, poiché non sono immediatamente percepibili; tale problema è probabilmente più sentito quando ci si trova in condizioni dove l'abbagliamento e il fastidio agli occhi è più facilmente e velocemente percepibile, come per esempio negli ambienti di alta montagna innevati oppure in riva al mare.

¹⁶ Voke J. Radiation Effects on the Eye, Part 1 . Optometry Today, 30 Luglio 1999.

Bibliografia

- 1) Brooks CW, Borish IM, System for Ophthalmic Dispensing 3rd Edition, *Butterworth Heinemann Elsevier*, 2007, cap. 22 pg. 526-590
- 2) Benjamin WJ, Borish IM, Borish's Clinical Refraction 2nd Edition, *Butterworth Heinemann Elsevier*, 2006, cap. 25 pg. 1153-1187
- 3) Battistin R, Cap. 4.12: Uso e scelta dei filtri solari. In: AA.VV. Lenti e Occhiali – Un manuale di ottica oftalmica, *Medical Books*, 2003, pg. 467-469
- 4) Norma tecnica ISO_FDIS-12312-1_(E) FINAL DRAFT Sunglasses and related eyewear 2013 pg. 3-6 e Norma tecnica ISO-EN....
- 5) Voke J, Radiation Effects on the Eye, 30/07/1999, *Optometry Today* Part 1-3a-3b
- 6) Benedetti C, Scheda di approfondimento Occhio & Sole, 19/10/2012, www.carlobenedetti.it/occhio-sole/
- 7) Richards OW, Sunglasses for eye protection, 1971, *Am J Optom Arch Am Acad Optom n.48*
- 8) Clark BAJ, The luminous transmittance factor of sunglasses, 1969, *Am J Optom Arch Am Acad Optom n.46*
- 9) Peckham RH, Harley RD, The effects of sunglasses in protecting retinal sensitivity, 1951, *Am J Ophthalmol n.34*
- 10) Clark BAJ, Color in sunglasses, 1969, *Am J Optom Arch Am Acad Optom n.46*
- 11) Hovis JK, Lovasik JV, Cullen AJ, Increases outdoor recreation diminished ozone layer pose ultraviolet radiation threat to eye, 1989, *JAMA n.261*

- 12) Walsh K, La radiazione ultravioletta e l'occhio, 29/05/2009, *Optician n.6204 vol.237*
- 13) Zuclich JA, Ultraviolet-induced photochemical damage in ocular tissues, 1989, *Health Phys n.56*
- 14) Pitts DG, The ultraviolet action spectrum and protection criteria, 1973, *Health Phys n.25*
- 15) Pitts DG, Ultraviolet-absorbing spectacle lenses, contact lenses and intraocular lenses, 1990, *Optom Vis Sci n.67*
- 16) Cullen AP, Chou BR, Hall MG, Jany SE, Ultraviolet-B damages corneal epithelium, 1984, *Am J Optom Physiol Opt n.61*
- 17) Rosenthal FS, Safran M, Taylor HR, The ocular dose of ultraviolet radiation from sunlight exposure, 1985, *Photochem Photobiol n.42*, pg. 163-171
- 18) Taylor HR, West S, Rosenthal FS, Munoz B, Newland HS, Emmett EA, Corneal changes associated with chronic ultraviolet radiation, 1989, *Arch Ophthalmol n.107*, pg. 1481-1484
- 19) Pitts DG, Determination of ocular threshold levels for infrared radiation carcinogenesis, 1980, *US Dept Health and Human Sciences, National Institute for Occupational Safety and Health Publications*, pg. 80-121
- 20) Wallace J, An epidemiological study of lens opacities among steelworkers, 1971, *Brit J Ind Med n.28*, pg. 265-271
- 21) Lydahl E, Infrared radiation and cataract, 1984, *Department of Ophthalmology and Medical Biophysics, Karolinska Institutet, Stockholm*