

Art. n° 40 - GLI ADESIVI (o CEMENTI) nei SISTEMI OTTICI

PREMESSA

La funzione degli adesivi è ovviamente ben nota. Se ci limitiamo ai sistemi ottici, il loro scopo è di fissare gli elementi ottici fra loro od ai loro supporti, oppure fissare fra loro certe parti meccaniche.

Limitiamoci qui al fissaggio fra elementi ottici trasparenti o riflettenti; fissaggio fra di loro, non rispetto ai relativi supporti.

Molti sistemi ottici contengono elementi (o “membri”) semplici (lenti singole, prismi singoli, specchi) ed elementi composti. Questi ultimi sono costituiti da lenti o prismi o lamine (raramente specchi) incollati fra loro. S’intende che questi elementi sono destinati ad essere attraversati da un fascio di radiazione ottica.

Le ragioni per cui si procede all’incollaggio di elementi ottici sono ovvie:

1) Ecco la più importante. Ogni superficie aria-vetro agisce come specchio semi-riflettente, nel senso che una piccola parte del fascio che l’attraversa viene riflesso.

Il fenomeno è regolato da una classica formula, dovuta al fisico francese Augustine Jean Fresnel (pron. frénèl)(1788-1827), come segue.

$$(1) \quad \frac{R_s}{E_s} = \frac{\sin(\phi - \phi')}{\sin(\phi + \phi')} \quad \frac{R_p}{E_p} = \frac{\tan(\phi - \phi')}{\tan(\phi + \phi')}$$

in cui:

– **E** ed **R** indicano rispettivamente l’ampiezza del vettore elettrico nel fascio incidente ed in quello riflesso;

– gli angoli ϕ e ϕ' rappresentano gli angoli d’incidenza e di rifrazione;

– gli indici **s** e **p** richiedono qualche spiegazione in più. Qualunque raggio ottico che incida sulla superficie di un corpo dielettrico (gli isolanti, di solito, escludendo quindi i metalli) viene sdoppiato in due fasci polarizzati linearmente, che oscillano in piani ortogonali fra loro (polarizzazione circolare o ellittica): uno parallelo al piano d’incidenza (**p**), uno perpendicolare al medesimo (**s**, dal tedesco *senkrecht* = perpendicolare). Per ognuno dei due fasci riflessi occorre quindi eseguire un calcolo separato¹, come indicato dalle due formule (1).

Quando l’angolo d’incidenza tende a zero (“incidenza normale”), il valore dell’arco e del seno tendono a confondersi, la formula (1) si semplifica e diventa funzione solo dell’indice di rifrazione del vetro (visto che l’angolo di rifrazione ϕ' dipende dall’indice **n**):

$$(2) \quad \frac{R}{E} \simeq \frac{n - 1}{n + 1} \quad (\text{si suppone una superficie aria-vetro})$$

Se si vogliono conoscere le intensità dei fasci (proporzionali al quadrato delle ampiezze), occorre elevare al quadrato i membri dell’equazione (2):

$$(3) \quad r = \frac{R^2}{E^2} = \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2$$

Nella (3) il termine **r** indica il “potere riflettente” o “riflettanza”. Supponendo $n = 1,5$ (per i normali vetri), si ha, sempre per incidenza normale: **r = 0,04 = 4%**.

Di conseguenza, la frazione di fascio principale che viene riflessa da una superficie lucida

¹ Vedi, in questo sito, sezione “Approfondimenti”, l’articolo “Introduzione alla Microscopia in Radiazione Polarizzata”, cap. 9, pag. 49, ecc.

può andare, per una semplice superficie aria-vetro, da circa il 4% al 100%, a seconda dell'angolo d'incidenza e dell'indice del vetro. Per incidenza radente ($\phi = 90^\circ$) qualunque superficie lucida fra mezzi trasparenti tende a divenire uno specchio perfetto, con $r = 100\%$.

Risultato: la frazione riflessa da tutte le superfici di un sistema ottico crea un fascio spurio che si sovrappone al fascio principale e crea una serie di immagini generalmente sfocate sovrapposte all'immagine principale.

Come è ben noto, questo significa perdita di contrasto.

Per evitare tutto ciò² sono stati creati intorno al 1935 i “trattamenti anti-riflettenti” che riducono la frazione riflessa da una superficie, ma non risolvono del tutto il problema.

Molto più efficace è il metodo di incollare fra loro due superfici contigue aria-vetro con un materiale trasparente che possieda un indice di rifrazione il più simile possibile a quello del vetro. Nella formula di Fresnel sopra vista (3), se il fattore n ha lo stesso valore sopra e sotto la superficie riflettente, il numeratore della frazione si annulla ed il risultato r diviene pari a zero (il numero 1 indica l'indice dell'aria; se la superficie si trova fra vetro e cemento collo stesso indice $n_2 = n$, il numero 1 diviene pari ad n).

2) Ogni superficie aria-vetro può produrre una “riflessione interna totale”; questa si verifica quando il fascio passa da un mezzo più rifrangente ad uno meno rifrangente e quando l'angolo d'incidenza supera un certo valore (“angolo limite”), tanto più elevato quanto più piccola è la differenza d'indice fra i due mezzi a contatto. Questo avviene facilmente se una lente di forte curvatura è immersa in aria ed è assai dannoso poiché il fascio totalmente riflesso va perduto ai fini dell'immagine principale e presumibilmente viene diffuso.

3) Ogni irregolarità della superficie di un elemento ottico (difetti di lucidatura, graffi, ecc.) diviene inefficace se la superficie stessa si trova a contatto con un cemento di pari indice. Dal punto di vista del costruttore, questo significa maggiori tolleranze nel controllo di qualità della produzione ed un minor numero di pezzi scartati.

4) Quando un elemento è costituito da materiali teneri come la fluorite o da vetri speciali chimicamente instabili, lo si può proteggere incollandovi dai due lati un elemento in vetro stabile e duro a mo' di protezione. Si hanno così dei triplette che offrono al progettista parametri aggiuntivi su cui agire nel progetto del sistema.

In genere, lo spessore di cemento fra gli elementi di un sistema composto è molto sottile; pertanto il suo effetto non è rilevante ai fini del cammino ottico e del progetto del sistema (“ray-tracing”).

Il metodo dell'incollaggio ha naturalmente anche qualche contro-indicazione:

1) Col tempo, l'adesivo può perdere la sua trasparenza, cambiare colore, diventare diffondente. Se cristallizza o comunque subisce certe alterazioni, rende inservibile il sistema.

Vi sono anche casi di degassamento, nel senso che dal cemento si liberano minuscole bolle di gas che trasformano l'adesivo in una specie di schiuma solida. Effetto diffondente garantito.

In altri casi, il cemento può conservare la sua trasparenza ma diventare birifrangente e quindi essere inutilizzabile quando si usa la radiazione polarizzata (Pol, DIC, ecc.).

2) L'adesivo si può staccare dagli elementi in vetro e creare “anelli di Newton”, anche senza alterarsi. L'eguaglianza degli indici e quindi la riduzione dei riflessi vengono perdute.

3) Quando gli elementi incollati hanno un diametro superiore a qualche centimetro, la

² Vedi in questo sito il manuale: “Problemi Tecnici della Microscopia Ottica”, Cap. 17.1.2, pag. 144.

differenza di coefficiente di dilatazione fra le due parti incollate può creare tensioni meccaniche ad ogni variazione di temperatura, fino alla rottura di uno od entrambi gli elementi.

In questi casi si usano: – cementi plastici (a base di silicone, generalmente) – strati liquidi (il fissaggio degli elementi fra loro sarà allora devoluto ad una struttura meccanica) – spaziatura in aria, perdendo il vantaggio dell'eliminazione dei riflessi.

Questi accorgimenti vengono considerati tassativi in lenti di diametro superiore a circa 7 cm (cannocchiali, telescopi rifrattori, ecc.), soprattutto se destinate ad operare all'aria aperta e quindi soggette alle variazioni del clima. Non sono rari gli obbiettivi da telescopio a spaziatura liquida, in cui il progetto viene facilitato dalla possibilità di scegliere le proprietà ottiche del liquido.

4) Un cemento che solidifica in tempi rapidi rende impossibile in un secondo tempo correggere la centratura reciproca degli elementi incollati; se gli elementi incollati sono più di due (come i triplette di protezione sopra citati), la centratura reciproca dei tre elementi diviene ancora più difficile.

LA CHIMICA

Le **resine naturali** sono composti di origine vegetale (tranne la gommalacca, prodotta da alcune specie di insetti Emitteri) con forti proprietà adesive, liquidi ma con tendenza ad indurire se esposti all'aria, insolubili in acqua.

Per più di un secolo, almeno da quando sono stati introdotti i doppietti acromatici incollati, il materiale d'elezione come adesivo o cemento nel campo dell'ottica è stato il “balsamo del Canada” (naturale). Si tratta di un'oleoresina raffinata, ricavata dalla corteccia di un paio di specie di Conifere del Canada e del Nord degli Stati Uniti (*Abies canadensis* ed *Abies balsamea*) note, per l'appunto, col nome di “abete del balsamo”.

Si chiama “balsamo” una sostanza di origine vegetale, secreta da certi tipi di piante e contenente resine, oli e altri composti aromatici. All'aria tende a solidificare. Il termine “oleoresina” si applica alle resine contenenti oli volatili.

Il balsamo del Canada è stato messo sul mercato in varie forme e miscele, solido, sciropposo, sciolto in xilolo, ecc. Esso comunque ha composizione e caratteristiche non ben definite, in quanto si tratta di un prodotto naturale legato alla variabilità della specie vegetale da cui è ricavato ed ai processi di raffinazione.

Oggi occorre distinguere fra il “Balsamo naturale”, come lo abbiamo descritto, ed altri prodotti artificiali. Quello commercializzato come “naturale”, è difficile da reperire e comunque molto costoso. Anche nell'industria ottica esso è largamente sostituito da prodotti sintetici.

Per il “montaggio” dei vetrini viene spesso offerto un “balsamo del Canada” senza la specifica “naturale”, il che indica che si tratta di un prodotto artificiale. In ogni caso, per questa applicazione è necessario che il “balsamo” sia solubile con altri reagenti che vengono usati nelle fasi precedenti del confezionamento del vetrino, in particolare con lo xilolo; inoltre, esso deve essere anche chimicamente neutro ed inattivo per non scolorire gli oggetti colorati.

Soprattutto ai fini del montaggio dei vetrini, è utile tentare un confronto fra le resine sintetiche ed il balsamo “naturale”.

Vantaggi:

- le resine sintetiche sono sempre molto trasparenti, anche all'IR ed all'UV, e non ingialliscono col tempo; il balsamo “naturale” tende a farlo;

- le resine sintetiche usate per l'incollaggio, di solito, non contengono solventi e quindi non si ritirano con l'essiccamento. Ma non sono adatte al montaggio dei vetrini. Il balsamo naturale contiene solvente, ma in genere sui bordi del vetrino secca così bene da sigillare il rimanente, che non secca più per tempi lunghissimi. Il balsamo artificiale per vetrini, di cui esistono moltissime composizioni, invece, si ritira molto con l'evaporazione del solvente;

- il balsamo artificiale per vetrini generalmente è neutro dal punto di vista chimico, il che è necessario per evitare la decolorazione di molti oggetti; il balsamo “naturale” non sempre è

neutro;

- è normalmente assente ogni fluorescenza propria; il balsamo “naturale” è sempre fluorescente;

- le resine sintetiche induriscono in fretta, anche se a volte richiedono un trattamento termico o l'esposizione ad una sorgente di UV per accelerare la polimerizzazione; il balsamo “naturale” richiede settimane o mesi (a freddo) o almeno ore (a caldo).

Svantaggi:

- col tempo, le resine artificiali possono alterarsi in modo vario ed imprevedibile (ed è questo l'oggetto di questo articolo);

- soprattutto quando contengono un solvente, si “ritirano” e diminuiscono di volume, per cui l'aria s'insinua ampiamente fra i due vetrini rendendo impossibile l'osservazione; perciò le resine artificiali con solvente non sono adatte alla confezione dei vetrini, se non molto sottili (strisci, ad es.); come già detto, il balsamo naturale presenta questo difetto in misura assai ridotta;

- generalmente, l'aria non si scioglie nelle resine artificiali e la minima bolla d'aria intrappolata per errore non si scioglie più; nel balsamo “naturale” le bolle si sciolgono da sole nel giro di pochi giorni;

- l'aderenza al vetro non è sempre elevata, e provoca spesso vari tipi di scollature. Il balsamo naturale, sotto questo aspetto, è ottimo.

Ovviamente, ogni fabbricante di sistemi ottici utilizza adesivi di sua scelta, e spesso di sua produzione, di cui non viene mai rivelata la natura e le caratteristiche.

Passando alle “**resine artificiali**” o “sintetiche”, troviamo molti prodotti artificiali con proprietà simili.

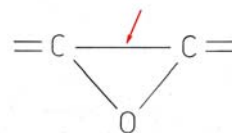
Si tratta di composti macromolecolari (con peso molecolare elevato, anche oltre 30.000), derivati dalla polimerizzazione³ di composti a molecole assai più piccole, detti “monomeri”. Spesso i monomeri possiedono molecole lineari, allungate.

Nei polimeri “reticolati”, due o più catene principali sono legate da catene laterali. Con un basso grado di reticolazione, si ottengono maglie ampie e quindi una struttura bidimensionale; in altri casi, un elevato grado di reticolazione comporta maglie strette ed una struttura tridimensionale. La rigidità conferita da una fitta reticolazione è ampiamente sfruttata nelle resine termoindurenti.

Il processo di polimerizzazione può essere esotermico (può produrre calore). Viene in genere indicato, dagli autori di lingua inglese, col termine sintetico di “**curing**”.

Col tempo, sono stati creati polimeri derivanti da monomeri di varia natura: etilene, vinile, stirolo, acrilati (contenenti il gruppo acrilico $\text{H}_2\text{C} = \text{CHCO} -$) e metacrilati (derivati metilici dell'acido acrilico). Così pure resine a base di esteri, amine, uretani, siliconi.

Dopo il 1946 si sono diffuse le **resine epossidiche**, polimeri formati da monomeri a catena eterogenea: in ogni molecola del monomero si alternano molecole di difenilpropano (detto anche bisfenolo A) e molecole di epichloridrina. Queste ultime terminano con gruppi “epossidici” con struttura ad anello o a ponte (vedi lo schema a lato).



Il legame di valenza fra i due atomi di carbonio (freccia rossa in figura) può interrompersi ed

³ La polimerizzazione è la trasformazione di una sostanza con peso molecolare medio-basso (monomero) in una a peso molecolare molto elevato per creazione di legami chimici fra le molecole del monomero. Le caratteristiche chimiche e fisiche del monomero vengono profondamente modificate nella polimerizzazione. Il numero delle molecole di monomero che si uniscono a formare la molecola del polimero si chiama “grado di polimerizzazione”. La polimerizzazione può avvenire anche fra monomeri di diversa natura: si parla allora di “copolimeri”.

La maggior parte delle sostanze organiche che si trovano negli organismi viventi (come ad esempio le proteine, l'amido, la cellulosa, la lignina, la chitina, le resine, la gomma) e molti prodotti sintetici (come le materie plastiche, le fibre, gli adesivi, la porcellana) sono costituite da polimeri.

in esso possono inserirsi altri gruppi atomici.

Il gruppo epossidico è molto reattivo e si lega facilmente ad altri gruppi.

Ebbene, nelle resine epossidiche i monomeri possiedono molecole lineari, alle estremità delle quali si possono trovare i gruppi epossidici; fra queste molecole lineari si possono formare ponti (legami chimici) trasversali che creano inizialmente gruppi molecolari a due dimensioni e, col procedere della polimerizzazione, reticoli a tre dimensioni. Il materiale diviene sempre più compatto, fino al completo indurimento.

La polimerizzazione delle resine epossidiche viene in genere governata con l'aggiunta di altri composti organici, acidi o basici, e con precisi trattamenti termici.

In casi particolari, per migliorarne le caratteristiche meccaniche, il monomero viene addizionato con un "filler" di natura metallica, che però rende il polimero più o meno opaco e quindi inservibile ai fini ottici di cui ci stiamo occupando.

In ogni caso, la polimerizzazione è di solito irreversibile ed un riscaldamento è, fino ad un certo punto, inutile: il materiale è "termo-indurente".

Industrialmente, vengono proposte resine epossidiche ad uno o due componenti.

Nel primo caso, la polimerizzazione avviene per riscaldamento (a 100 – 150 °C) e, fino a quel momento, il monomero si può conservare per tempi assai lunghi. Una volta avviato, il "curing" non può essere interrotto: si completa solo se la temperatura rimane costante.

Le resine epossidiche "a due componenti" prevedono, oltre al monomero, il mescolamento con un catalizzatore (composto che accelera una reazione chimica). In questi casi, il curing può avvenire anche a freddo, in pochi giorni, ma si accelera con un modesto riscaldamento. Monomeri di questo tipo non si possono conservare per tempi lunghi.

Nella manipolazione di una resina sintetica adibita ad adesivo occorre distinguere quattro fasi:

- tempo di magazzinaggio; abbiamo appena detto che esso è più lungo nelle resine epossidiche ad un componente; dipende, fra l'altro, dalle condizioni ambientali;
- tempo di attesa ("working life"): il tempo concesso per l'applicazione dopo l'estrazione dal contenitore o dopo il mescolamento dei due componenti;
- tempo di manipolazione, durante il quale è ancora possibile spostare fra loro le due parti incollate per modificarne la centratura reciproca;
- tempo d'indurimento finale, durante il quale il cemento non è ancora indurito del tutto, ma i pezzi non si devono più spostare fra loro.

LE CARATTERISTICHE FISICHE

Quelle necessarie ad un adesivo o cemento per uso ottico sono molte.

— Indice di rifrazione (**n**)

Quando le due parti da incollare sono fatte dallo stesso vetro, l'indice del cemento deve essere il più vicino possibile a quello del vetro, per ovvi motivi. Tra le resine epossidiche, si possono facilmente trovare valori fra 1,50 ed 1,65, adatti per la maggioranza dei vetri. Il balsamo naturale si trova intorno a 1,54.

Nel caso di doppietti incollati, per definizione, si accoppiano vetri diversi, generalmente vetri leggeri borosilicati a basso indice ("crown") e vetri al piombo più pesanti e più rifrangenti ("flint"). L'indice del cemento è bene risulti a metà strada.

Il valore dell'indice assume estrema importanza nel caso dei prismi polarizzanti. Di tali prismi esiste una grande varietà, secondo decine di schemi diversi. Nei modelli classici, secondo lo schema di Nicol, due prismi di calcite sono tagliati a cuneo ed incollati secondo una faccia diagonale a mezzo di un cemento, che classicamente è balsamo del Canada naturale. Il potere polarizzante del prisma composto viene dal fatto che il fascio incidente, secondo angoli compresi in valori precisi, viene decomposto in due fasci per birifrazione; l'uno traversa il prisma composto con leggero spostamento laterale, l'altro viene deviato per riflessione totale sullo strato di cemento e poi assorbito. Ebbene, la riflessione totale può avvenire solo all'interno di valori

precisi di angolo al vertice del cuneo e di indice del cemento. Questo va dunque scelto con grande cura per queste applicazioni.

— Trasparenza

Deve essere elevata, possibilmente anche nella banda infrarossa, per via delle mille applicazioni in campo tecnologico; nel campo biologico, l'IR è usato per l'osservazione di certi corpi opachi (chitina di insetti, ad es.) e per permettere l'uso di molti laser in applicazioni speciali.

Anche nella banda UV vi sono applicazioni tecnologiche e biomediche (fluorescenza, densitometria UV, ecc.) che richiedono elevata trasparenza.

Le resine epossidiche hanno generalmente un'ottima trasparenza per lunghezze d'onda fra 0,35 e 2,5 μ .

Nella figura seguente si confrontano come esempio le curve di trasparenza del balsamo del Canada e di una resina acrilica.

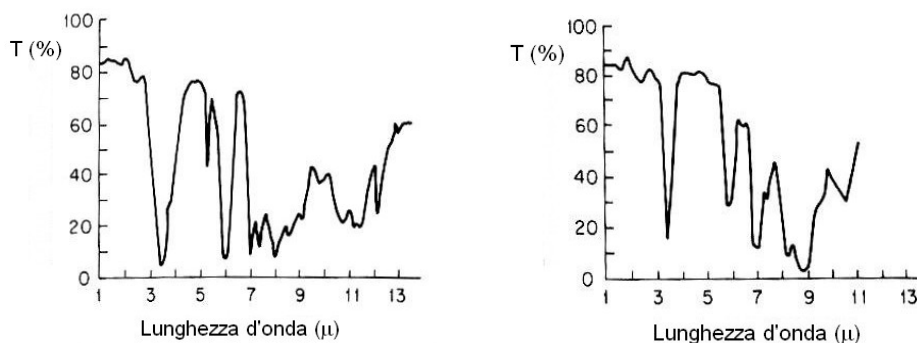


Fig. 1 – Trasparenza di uno strato di balsamo del Canada naturale, dello spessore di 12 μ (a sinistra) e di una resina acrilica di pari spessore (a destra). Come si vede, la trasparenza è buona nell'infrarosso vicino, ma con ampie zone di assorbimento a maggiori lunghezze d'onda.

— Fluorescenza propria

Nelle osservazioni in fluorescenza, nessuna parte del sistema ottico deve possedere una fluorescenza propria, che diminuirebbe il contrasto. È una delle ragioni per l'esclusione del balsamo naturale.

— Colore

Deve essere impercettibile, il che si ottiene senza difficoltà, soprattutto perché si tratta in genere di spessori molto sottili. Certe resine naturali però tendono ad ingiallire col tempo.

Poiché molti sistemi ottici possono andare soggetti a forti irraggiamenti o riscaldamento (strumenti a laser, osservazioni in fluorescenza, micro-proiezione, ecc.), occorre che le proprietà appena descritte, come le seguenti del resto, si conservino a tempo indeterminato. In altre parole, qualunque cemento deve essere **stabile** e resistente a quelle condizioni.

— Aderenza

L'aderenza alle superfici adiacenti non deve mai venir meno. Quando ciò avviene, fra le due superfici che si staccano s'interpone uno straterello d'aria, generalmente molto sottile, che produce i cosiddetti "anelli di Newton" per fenomeni interferenziali. In ogni caso, il salto di indice – vetro / aria / cemento – che deriva dal distacco produce di nuovo quelle perdite per riflessione che l'incollaggio doveva eliminare.

I fenomeni di distacco vengono spesso indicati, genericamente, come "delaminazioni" ma occorre distinguere fra il distacco vero e proprio ed altri fenomeni di alterazione, come le cristallizzazioni citate subito sotto.

— Stabilità

Indipendentemente dall'eventuale distacco, il cemento non deve subire alterazioni percettibili che ne alterino le proprietà ottiche o meccaniche. In particolare è frequente il caso di **cristallizzazioni** per le quali, all'interno dello strato di resina, si formano microscopici cristalli od aggregati che alterano la trasparenza e/o introducono fenomeni di birifrazione, dannosissimi negli strumenti che usano radiazione polarizzata (Pol, DIC, ecc.).

In casi estremi, la cristallizzazione trasforma l'adesivo in un ammasso polverulento di

microcristalli.

— Il tempo di magazzinaggio, di attesa e di manipolazione (vedi alla pagina precedente) deve essere compatibile coi ritmi della produzione; il tempo d'indurimento deve essere il più breve possibile.

— Viscosità

L'adesivo viene in genere deposto sotto forma di goccia al centro della superficie concava o piana; l'altra superficie (convessa o piana) viene poi accostata e l'adesivo deve espandersi spontaneamente fino ad occupare tutta la superficie interessata. La fluidità dell'adesivo deve consentire questo processo sotto il peso stesso dell'elemento superiore o sotto una lieve pressione esterna.

— Stabilità dimensionale

Col tempo e con le variazioni di temperatura il cemento non deve subire apprezzabili variazioni di volume per evitare tensioni rispetto agli elementi in vetro confinanti; ciò faciliterebbe il distacco fra cemento e vetro. Nel linguaggio quotidiano si dice che un qualunque adesivo non deve "tirare".

Quando il sistema ottico è destinato ad operare all'aperto o nello spazio, può essere utile che i cementi conservino una certa flessibilità. Naturalmente, la flessibilità di un cemento apre la possibilità di piccoli spostamenti reciproci fra gli elementi incollati ed allora il costruttore dovrà prevedere apposite strutture meccaniche per evitare il decentramento di qualunque elemento.

— Resistenza chimica e termica

Un cemento ottico deve possedere una resistenza a tempo indeterminato alle variazioni prevedibili di temperatura ed agli agenti chimici dell'ambiente in cui deve operare: ossigeno, vapor d'acqua, tracce acide o basiche nell'aria, vapori di solventi, reagenti presenti nell'ambiente di lavoro, a volte assai aggressivi, come nella tecnica metallografica. Poiché i cementi debbono essere progettati in vista di parametri ottici assai stringenti, difficilmente potranno soddisfare a tutte le altre esigenze chimiche e fisiche. Da ciò le deprecabili defezioni ...

Ciononostante, le normali resine epossidiche resistono bene fra -50 e $+300$ °C mentre il balsamo del Canada naturale non sopporta le basse temperature.

— Minimo degassamento

Col tempo, un qualunque composto complesso come un polimero può liberare qualche elemento gassoso. Ciò si può tradurre nella formazione di microscopiche bolle di gas nello strato di cemento, che acquisterà con ciò un certo potere diffondente. Una specie di schiuma ottica finissima ... (vedi sotto, la figura 10).

Un tale fenomeno deve essere contenuto in termini assai stretti.

PROBLEMI di MONTAGGIO

Accenniamo solo a qualcuna delle esigenze cui deve far fronte il costruttore al momento di incollare due o più elementi ottici.

Se le due superfici da accostare sono piane (come avviene spesso con i prismi), la centratura delle due parti si deve solo riferire ad elementi esterni in modo da rispettare l'andamento di un comune asse ottico. Se le superfici sono sferiche, i loro centri di curvatura debbono giacere su un asse ottico comune (comune alla parte rimanente del sistema), e quindi debbono essere centrati reciprocamente. Si deve assicurare perciò uno spessore costante dello strato di cemento.

Il controllo si fa usualmente "a frange", cioè sfruttando il fenomeno degli "anelli di Newton", l'interferenza fra i fasci riflessi dalle due superfici dello strato in questione.

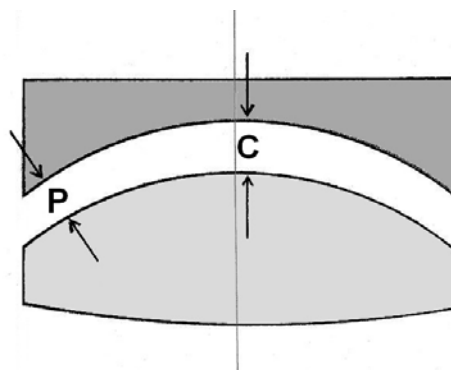
Ovviamente, data la minima differenza di indice fra cemento e vetro, la densità delle frange sarà ugualmente minima ed occorrerà migliorarla operando in luce strettamente monocromatica. Ma il metodo è semplice e preciso. Si avrà l'uniformità di spessore nello strato di cemento quando le frange saranno circolari e concentriche all'asse del sistema.

Ma qui nasce un piccolo problema: se le due superfici a contatto possiedono un identico raggio di curvatura, lo spessore dello strato NON sarà uniforme.

Può sembrare strano, ma si consideri la figura seguente.

Fig. 2 – Se si misura lo spessore dell'intercapedine fra due superfici sferiche reciprocamente centrate, vi sono due alternative: se si esegue la misura parallelamente all'asse del sistema, lo spessore è certamente lo stesso. Ma se si misura perpendicolarmente alle superfici, lo spessore risulta maggiore al centro (C) e minore alla periferia (P).

Anche senza calcoli particolari, già ad occhio si vede la differenza nella figura a fianco.



Ne consegue che in molti casi i costruttori danno alla superficie concava un raggio di curvatura leggermente superiore all'altra, proprio per evitare questo effetto.

Comunque si ricordi che, data la somiglianza di indice fra cemento e lenti confinanti, un qualunque difetto di curvatura delle superfici ha un effetto assai minore di quanto avrebbe se le lenti fossero immerse in aria.

Un altro problema nasce all'interazione meccanica fra una lente composta ed il relativo supporto, del tipo "barilotto".

Fig. 3 – Esempio di un barilotto contenente due elementi semplici ed un doppietto incollato.

In un sistema complesso vi possono essere molti elementi tenuti complessivamente serrati, per es., fra un anello a vite (1) ed una spalla fissa (4). Fra l'uno e l'altro vi possono essere anelli distanziali (2 e 3).

Per gli elementi semplici (c e d) le parti meccaniche debbono assicurare il corretto posizionamento delle lenti. Per gli elementi composti (a + b) si aggiunge l'esigenza che, al momento del serraggio, le parti meccaniche non introducano spinte trasversali che possono spostare gli elementi incollati fra loro se il cemento non è ancora perfettamente solidificato o produrre in esso un'anisotropia da tensioni meccaniche (fotoelasticità).

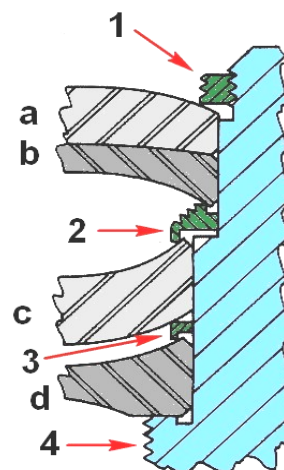
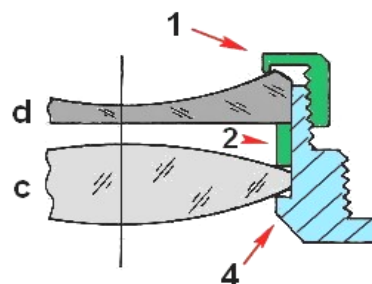


Fig. 4 – Esempio di doppietto non incollato. Le esigenze di centratura dei singoli elementi sono le stesse, ma nessuno dei due elementi può trascinare l'altro.



PROBLEMI di RIPRISTINO

Ecco il nocciolo della questione.

Col passare del tempo, almeno nell'ultimo secolo, l'evoluzione della tecnica ha portato anche ad un'evoluzione nel campo degli adesivi. È difficile trovare due sistemi ottici che siano stati confezionati collo stesso cemento. Ed è imprevedibile la loro trasformazione nel tempo.

In sede di revisione e riparazione, un terzo dei problemi che si presentano sono dovuti proprio all'alterazione di qualche strato di adesivo. Occorre farsene una ragione: quando un sistema ottico contiene uno o più elementi incollati può sempre verificarsi un'alterazione di qualcuno di essi nel senso che il cemento usato, col tempo, può aver subito una modificazione di una o di parecchie delle sue proprietà.

Vedremo alcuni esempi di ciò, ma intanto si presenta il problema di "cosa fare".

Quando è possibile, occorre smontare gli elementi incollati dalla loro sede, separarli fra loro, eliminare il cemento rimasto, pulire il tutto, reinserire un cemento nuovo, eventualmente

ricentrare il tutto. Semplice, a parole, ma fra il dire ed il fare ...

Limitiamoci alla separazione fra elementi incollati.

Come già detto, ogni fabbricante di sistemi ottici utilizza adesivi di sua scelta, e spesso di sua produzione, di cui non viene mai rivelata la natura e le caratteristiche.

Nei sistemi non recenti, è facile trovare un cemento “classico” come il **balsamo del Canada** “naturale”. Esso ha un indice intorno a 1,54 (dispersione $v = 42$) e, da questo punto di vista, si trova a metà strada fra i vetri borosilicati leggeri (crown) ed i vetri pesanti al piombo (flint) che normalmente vengono accoppiati nei doppietti acromatici.

A parte i suoi vantaggi e svantaggi, il balsamo naturale può andare incontro alla completa perdita dei componenti volatili e trasformarsi in un ammasso di scagliette o polverina giallastra, piuttosto opaco.

Scollare un elemento composto incollato a balsamo non è difficile. Generalmente il balsamo (naturale) rammollisce anche prima dei 100 °C e può bastare il riscaldamento in acqua calda (immergere il pezzo in acqua a temperatura ambiente e poi scaldare fino all'ebollizione).

Il pezzo caldo viene poi estratto con pinzette, afferrato tramite un panno e spinto colle dita in direzione parallela alla superficie incollata per far scivolare i due pezzi l'uno sull'altro.

Togliere il balsamo vecchio è ancora più facile: basta un solvente per vernici, o acquaragia, o xilolo.

Nel caso che il riscaldamento a 100 °C o poco più non basti, significa che il cemento è sintetico.

Abbiamo già detto che quasi tutte le **resine sintetiche**, specialmente le epossidiche, sono termoindurenti e non reversibili. Anche se polimerizzate a caldo, non rammolliscono più.

Un trattamento meccanico porta troppi rischi di rottura.

L'uso di un solvente, che generalmente non esiste, sarebbe comunque lentissimo. In qualche caso, l'alcool etilico, anche il comune alcool denaturato, può rammollire nel giro di qualche ora o di qualche giorno un sistema di piccole dimensioni; ovviamente sarebbe meglio che il pezzo da immergere nell'alcool fosse smontato dalla montatura metallica per facilitare la penetrazione del liquido.

Ma generalmente non resta che un trattamento termico, scaldando il pezzo con una pistola ad aria calda, come si usa per staccare le vernici vecchie, o una muffola. Il pezzo si pone in un contenitore metallico pieno di liquido termo-resistente (classicamente, olio di castoreo, ma può andar bene un olio lubrificante o olio di vaselina) e si scalda lentamente. Il rischio di rottura è sempre elevato per via delle differenze nel coefficiente di dilatazione fra un vetro e l'altro, ma non c'è altra via.

Ogni tanto, cercando di non raffreddare il pezzo troppo bruscamente, si estrae l'oggetto e si prova a far slittare un elemento sull'altro come detto sopra.

Spesso è sufficiente un riscaldamento a 200 °C, ma a volte non bastano 400 °C. Ed il rischio di rottura aumenta.

Dopo il distacco, occorre togliere il cemento alterato che è rimasto aderente ad una o entrambe le superfici. Nel caso delle resine sintetiche, si può provare con qualche solvente organico, da mettere alla prova volta per volta; ma generalmente un tale solvente non esiste.

A questo punto si può solo ricorrere ad una sottile e flessibile lamina metallica. In molti casi può bastare una lametta da barba di tipo classico, purché molto flessibile. La sua durezza deve sempre essere inferiore a quella del vetro, e questo si può verificare cercando di incidere l'estrema periferia della superficie di vetro, dove un eventuale graffio non reca danno. Inutile mettere alla prova la durezza della lametta sulle superfici laterali smerigliate del pezzo: anche se la lametta è meno dura del vetro riuscirà sempre a sgretolare le asperità della smerigliatura e trarrà in inganno.

Quando una delle superfici incollate è riflettente o semiriflettente, le cose si complicano: può

trattarsi di uno strato metallizzato (vecchi sistemi) o di sistemi interferenziali (pacco di strati sottili di vario indice).

In quest'ultimo caso, il riscaldamento può alterare gli strati sottili ma soprattutto, al momento del distacco, lo strato o gli strati riflettenti possono rimanere aderenti in parte ad uno degli elementi, ed in parte all'altro. La continuità dello strato riflettente è quindi irrimediabilmente spezzata. In sede di rimontaggio, si può curare che le due parti dello strato riflettente siano riportate a combaciare, ma qualche discontinuità resterà sempre.

Inoltre, gli strati interferenziali, oggi molto diffusi, presentano un altro problema: se l'adesivo vecchio resta in parte aderente al pacco degli strati sottili, non lo si può togliere con mezzi meccanici come descritto sopra. Si può solo tentare, con molta prudenza, l'uso di qualche improbabile solvente.

Se questo non si trova, si può rincollare il doppietto con un nuovo strato di cemento: se questo ha lo stesso indice del vecchio, i frammenti di quello vecchio che rimangono aderenti al vetro o allo strato semi-riflettente potrebbero scomparire otticamente, ma la faccenda prende le tinte dell'utopia.

Per finire, gli strati interferenziali possono presentare ancora un problema: essi funzionano correttamente se a contatto con un mezzo di indice appropriato. La sostituzione del cemento potrebbe alterare, sia pur lievemente, la banda passante del sistema.

CASI CONCRETI

Varie volte, in questo sito (sezione "Approfondimenti" – "Schede Tecniche") sono stati descritti microscopi ed accessori che hanno avuto bisogno di riparazioni. In quella rassegna, abbiamo incontrato esempi di malfunzionamento legati ad alterazione degli adesivi.

Possiamo richiamarli mettendo in evidenza le particolarità di ogni singolo caso.

Fig. 5 – Un caso abbastanza comune.

Un vecchio obiettivo Koristka acromatico 40:1, incollato a balsamo. È evidente la trasformazione del cemento, che si è desquamato a somiglianza dei fiori di ghiaccio sulle finestre d'inverno.

L'effetto diffondente è chiaro, ma inoltre, se utilizzato in radiazione polarizzata, il balsamo cristallizzato appare birifrangente e danneggia la "estinzione" dell'immagine, come in questo caso.

L'obiettivo è osservato in diascopea, attraverso una lente di Amici, a Nicol incrociati.

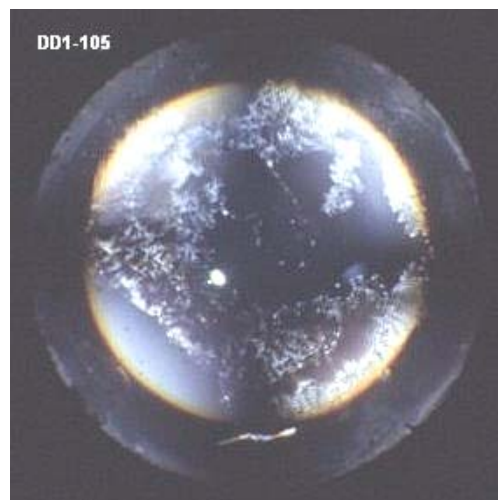


Fig. 6 – Altro vecchio obiettivo Koristka (acrom. 100 HI).

Supponendo che il doppietto sia stato ben pulito sulle facce esterne, può accadere di trovare un doppietto "appannato"; non vi sono segni grossolani di alterazione, ma un diffuso effetto di torbidità. Lo straterello di balsamo appare cosparso da macchioline chiare.

La lente è osservata in episcopia, con illuminazione obliqua.

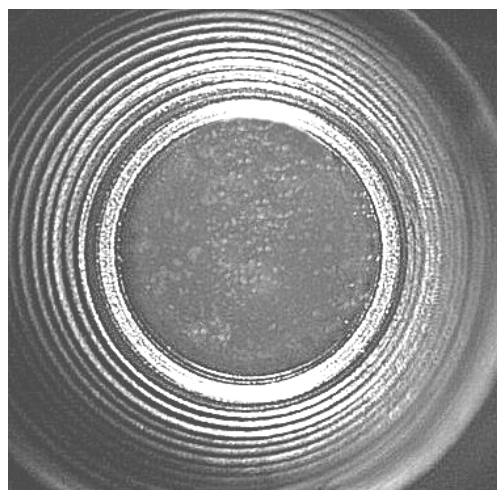


Fig. 7 a/b/c – Un moderno obbiettivo Zeiss W. (Plan Apocromatico Ph 40/0,1 – HI) – Scheda tecnica n° 16.

Tre fotografie riprese con diversa focalizzazione della lente di Amici – come appare evidente dalla diversa sfocatura dell'anello di fase – mostrano ben tre superfici alterate.

La presenza di una diffusa colorazione fa pensare che l'indice del cemento sia alterato e quindi consenta la formazione di colori interferenziali (del tipo degli "anelli di Newton").

Non è chiara l'origine delle ampie macchie scure.

Non è stato possibile smontare quest'obbiettivo poiché le parti meccaniche erano cementate con una resina assai tenace. Data la complessità del sistema ottico, un trattamento termico dell'intero obbiettivo presentava troppi rischi.

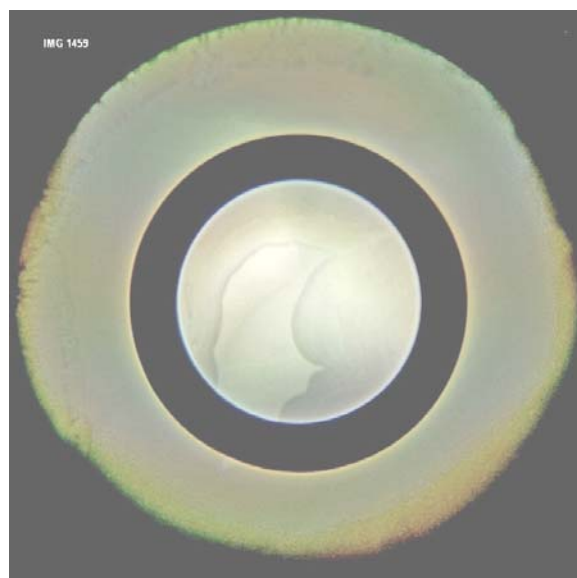
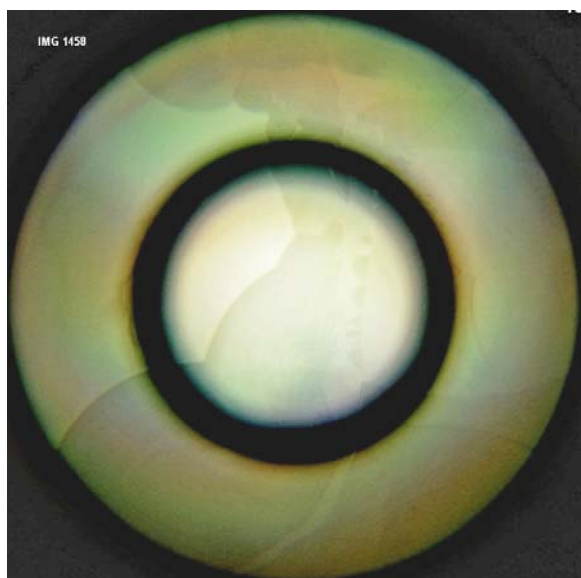
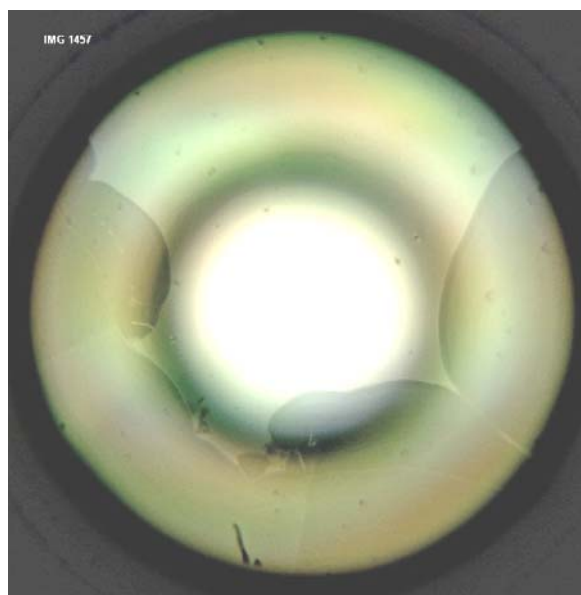


Fig. 8 (a destra) – Obbiettivo Leitz Fl - HI – 95/1,1-1,32 (con iride) – Scheda tecnica n° 21.

Esempio di alterazione iniziale, sotto forma di bolle in via di espansione.

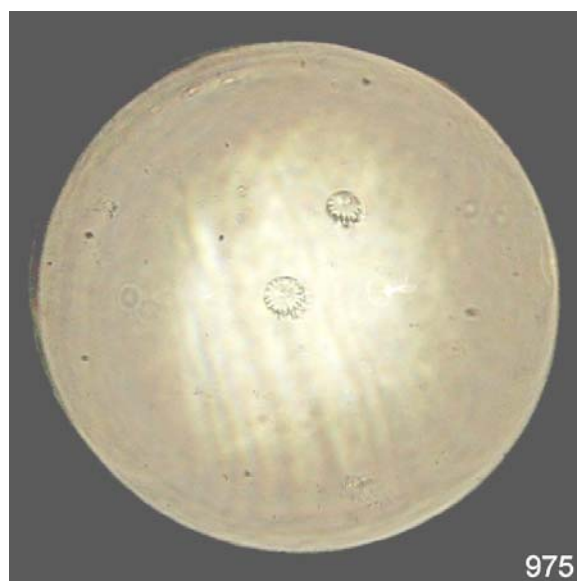


Fig. 9 (sotto) – Obiettivo Zeiss W. (Plan Apocromatico HI – 63/1,4) – Scheda tecnica n° 22.

Anche qui si osservano due diverse superfici con strane striature concentriche (a sinistra) e parallele (a destra).

L'obiettivo è ancora una volta sigillato in tutte le parti meccaniche e quindi la separazione degli elementi incollati non è stata possibile.

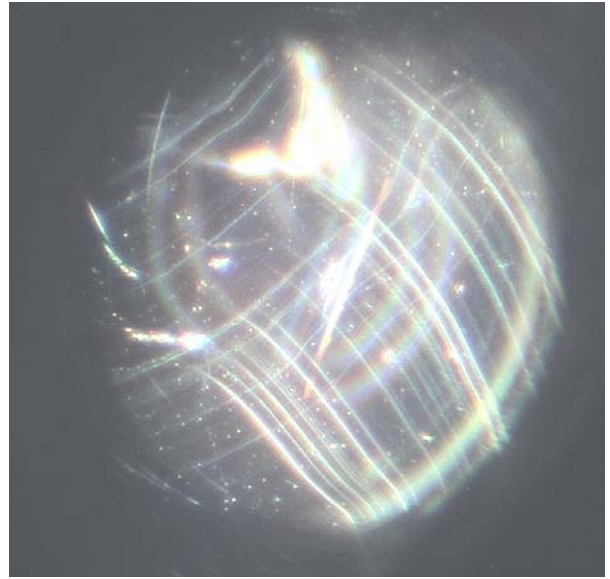
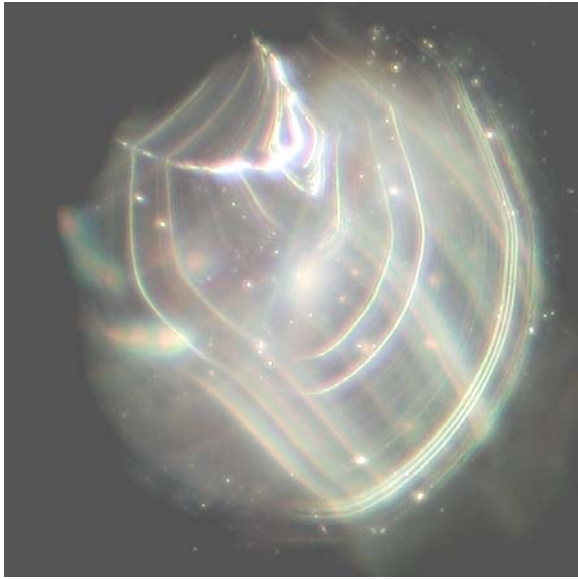


Fig. 10 a/b (sotto) – Tubo intermedio con analizzatore in uno stativo Zeiss W. Standard Pol. Scheda tecnica n° 56. Doppietti superiore ed inferiore del sistema Telan.

Qui sono evidentissimi gli anelli di Newton dovuti al distacco del cemento dal vetro.

Il doppietto superiore si è scollato dopo un trattamento termico a meno di 300 °C, mentre l'inferiore ha richiesto una temperatura superiore a 400 °C, e questo ha portato a qualche scheggiatura nell'elemento divergente del doppietto.



Fig. 11 a/b/c (sotto) – Microscopio stereoscopico Correct Seiwa, a sistema Greenough; due doppietti dell'obbiettivo zoom. Scheda tecnica n° 57.

Qui si vede un evidente effetto di degassamento. Lo strumento aveva oltre 20 anni dall'acquisto e denunciava una forte perdita di contrasto. Anche altri doppietti dello strumento presentavano lo stesso difetto.

Foto superiori riprese con retro-illuminazione obliqua. Nelle foto sotto, le stesse due lenti illuminate lateralmente.

Lo scollamento dei doppietti è stato possibile con un riscaldamento a poco più di 150 °C. Riparazione facile e definitiva.

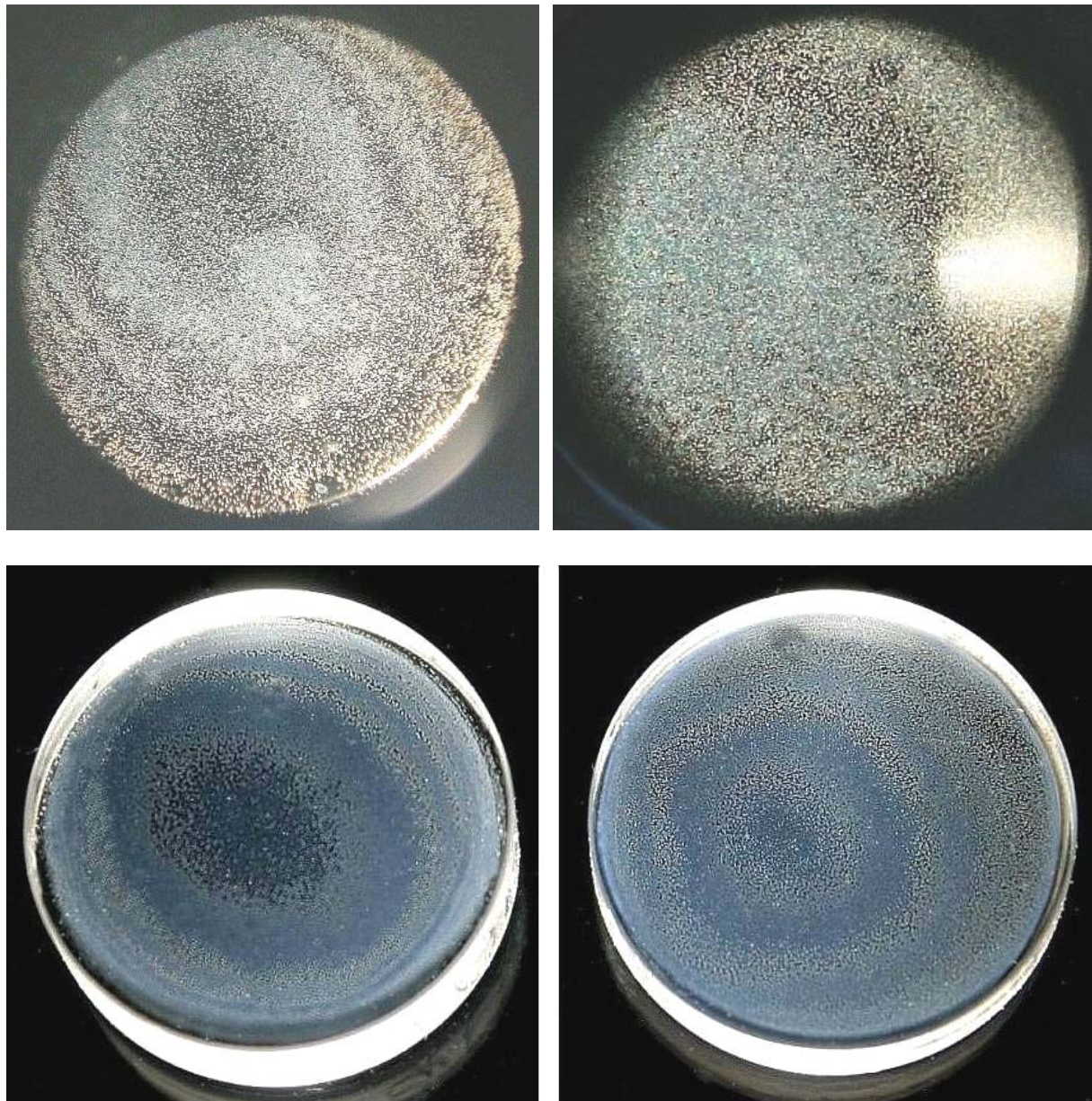
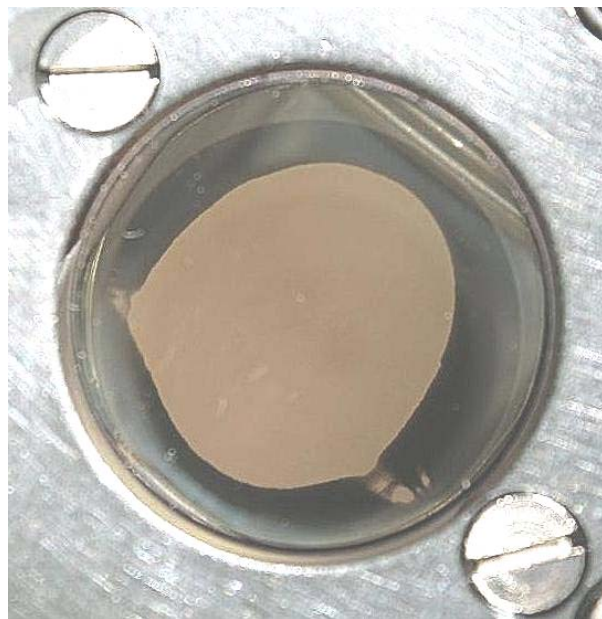


Fig. 12 a/b (sotto) – Due esemplari dello stativo Polyvar Met della casa Reichert – Prisma separatore (splitter) del tubo bioculare. Schede tecniche n° 61 e 79.

All'interno del primo prisma del tubo vi è una superficie semi-riflettente di tipo interferenziale che divide in due il fascio proveniente dall'obbiettivo. In uno degli esemplari lo strato mostra una chiazza sfumata laterale (a sinistra). Nel secondo (a destra), la chiazza occupa quasi tutta la superficie utile.

La chiazza, illuminata per riflessione, mostra un colore brunastro.



Vista in trasparenza (foto in basso a sinistra), il colore tende al blu (complementare).

Poiché il difetto si presenta in due esemplari coevi, si tratta di una proprietà dello strato semi-riflettente che, col tempo (oltre 10 anni), diviene assorbente ed assume un colore vistoso.

Essendo troppo rischioso applicare un trattamento termico forte ad un sistema interferenziale, è stato usato un trattamento “soft” ripetuto (10 – 60 °C). Ne risulta (foto qui sotto a destra) un inizio di scollamento, che però non procede oltre.

Esperimento interrotto.

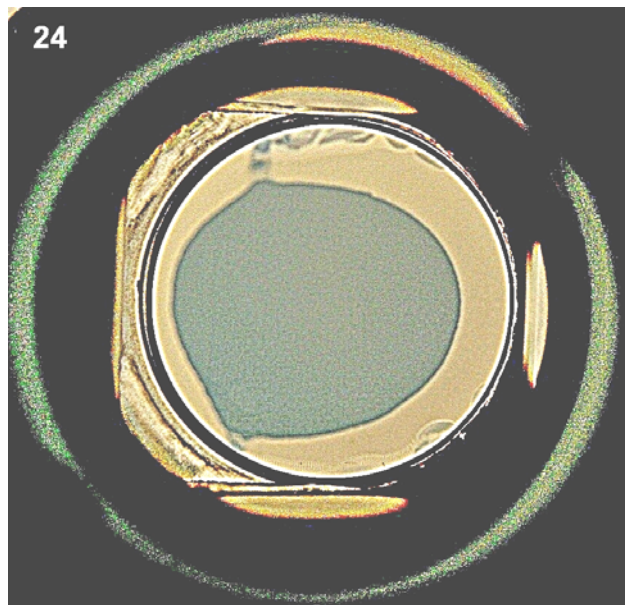
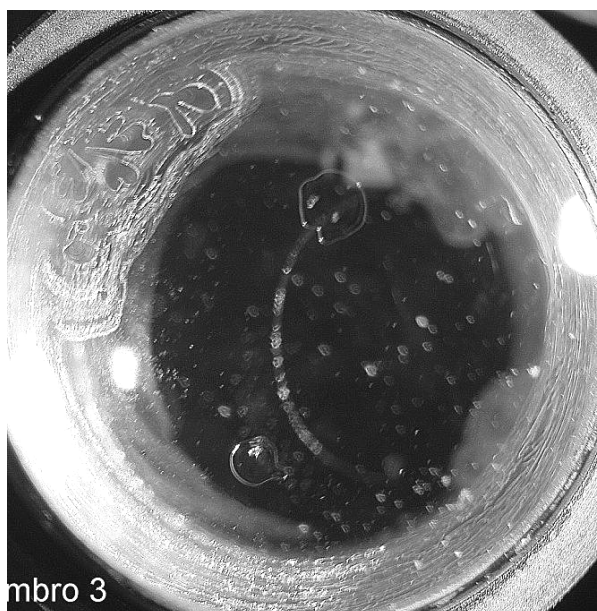
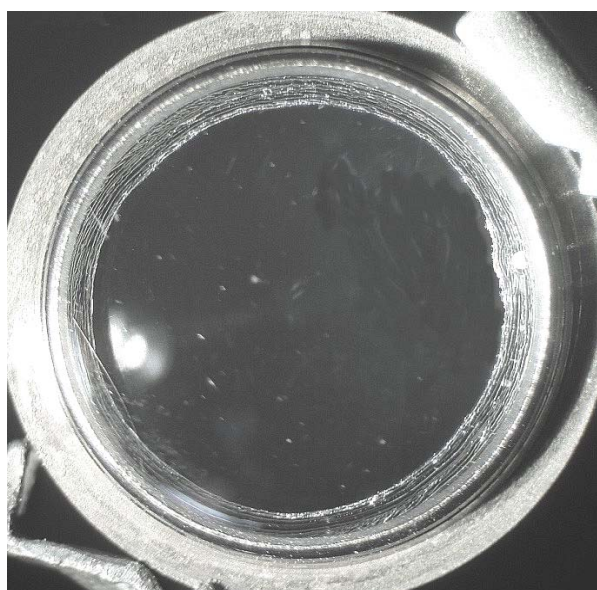


Fig. 13 (sotto) – Obiettivo Lomo Plan Apocromatico 40/0,65. Scheda tecnica n° 63.
L'obiettivo è composto da tre doppietti ed un tripletto – più la frontale – e contiene quindi cinque superfici incollate.



Se si osservano i singoli elementi con illuminazione dall'alto, tutti i membri composti mostrano forti segni di scollamento ed anche di ritiro dell'adesivo. Una frana.

Per fortuna, l'adesivo è il classico balsamo del Canada naturale, ed un riscaldamento a poco più di 100 °C ha permesso di scollarli tutti.

Più difficile è stato estrarre i membri composti dal loro barilotto per poterli smembrare ...

Ma il risultato finale è stato ottimo.

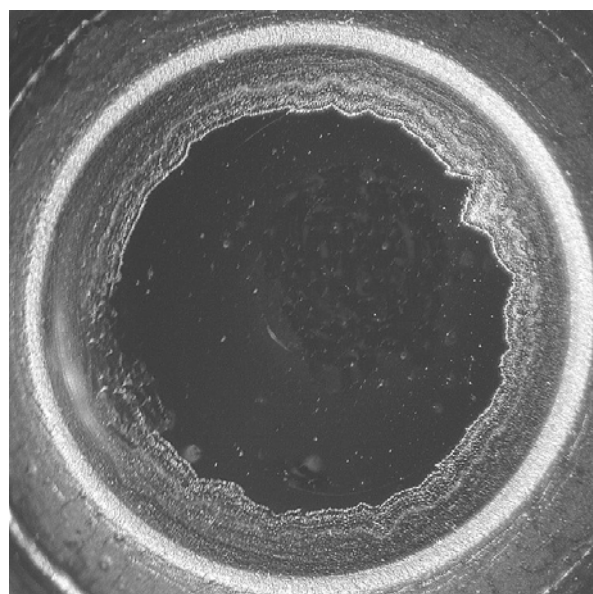


Fig. 14 a/b (sotto) – Obiettivo Wild Pol 10/0,25 – Scheda tecnica n° 73.

Ad un primo esame, questo sistema sembra del tutto trasparente. Essendo però destinato ad operare in radiazione polarizzata, è necessario un controllo a Nicol incrociati. A questo punto (figura sotto a sinistra) sembra che il cemento, senza cambiare indice, sia diffusamente cristallizzato e quindi divenuto birfrangente.

Il doppietto superiore, isolato dal suo supporto, mostra poi un evidente scollamento (chiazze bianche = riflessione totale fra vetro ed aria alla periferia della superficie incollata).

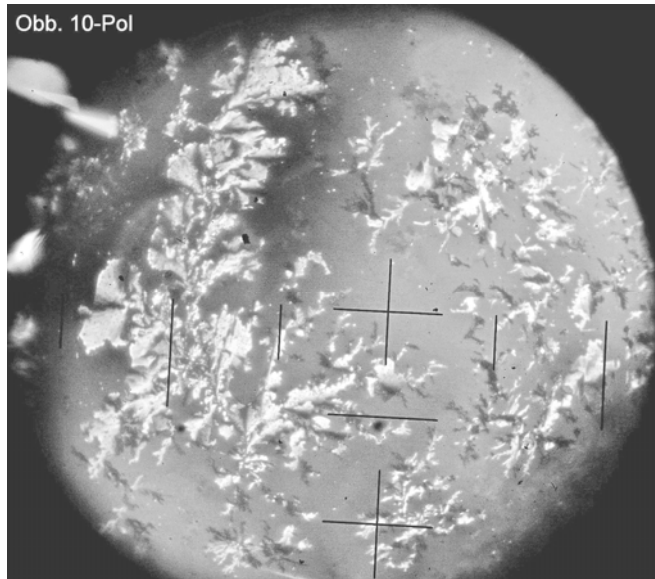


Fig. 15 (a lato) – Tentato un trattamento termico a 200 °C, la cristallizzazione nel doppietto si è ridotta, ma lo smontaggio è stato comunque tentato con successo.

Si notino i residui di cemento sulla superficie concava dell'elemento divergente.

Poiché il cemento è rimasto solido dopo il trattamento termico, non sembra trattarsi di balsamo.

D'altra parte, appare insolito un processo di cristallizzazione in una resina sintetica.

Mistero.

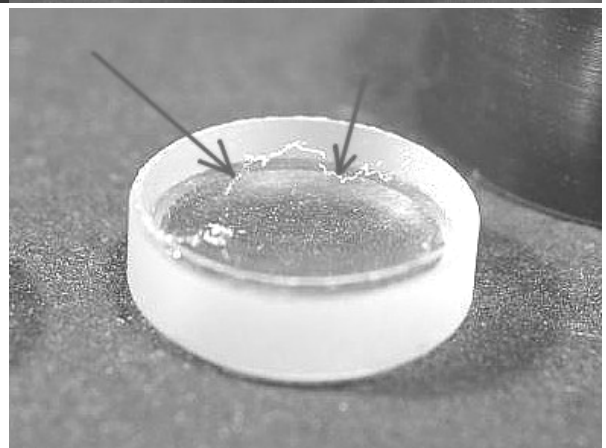
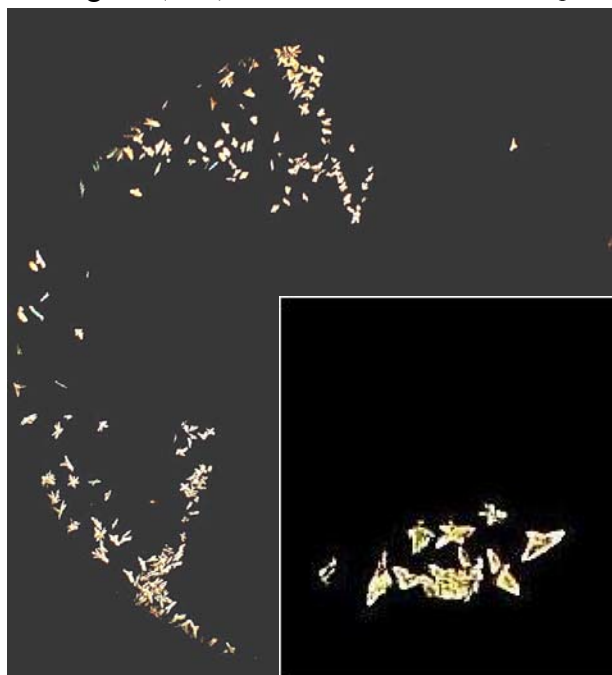


Fig. 16 (sotto) – Tubo intermedio Zeiss Jena per analizzatore e lente di Amici. – Scheda tecnica n° 77.



In entrambi i doppietti del sistema Telan contenuto nel tubo Pol, si osservano dei granuli birfrangenti. Altro esempio di cristallizzazione nel cemento.

Quest'ultimo doveva essere del tipo balsamo del Canada poiché è rammollito facilmente a caldo ed i residui si sono sciolti in xilolo.

Nella foto sotto, un particolare ingrandito.



CONCLUSIONE

Il fenomeno delle alterazioni nei cementi ottici è assai diffuso e le sue caratteristiche sono assai varie. La grande molteplicità nella composizione dei cementi e nelle caratteristiche dei vetri; la presenza eventuale di sistemi interferenziali a strati sottili; la varietà nelle condizioni di magazzinaggio degli strumenti, ed altri fattori occasionali, rendono il tentativo di sostituzione assai aleatorio e spesso distruttivo.

Nessun costruttore si preoccupa di rendere riparabili i propri prodotti; molti, addirittura, sigillano i loro sistemi ottici anche nelle parti meccaniche con adesivi quasi inalterabili.

Il lavoro della riparazione è quindi incerto e rischioso.