

TECNICHE per la RICERCA e l'IDENTIFICAZIONE dell'AMIANTO al microscopio

Col termine commerciale e generico di “amianto”¹ vanno indicati alcuni silicati e fillosilicati con abito cristallino fibroso. La loro origine è generalmente metamorfica, di epizona od in parte idrotermale, per alterazione di olivina e pirosseni magnesiferi. Giacimenti principali in Canada (Thetford), Russia ed Africa meridionale; giacimenti minori in Italia (Val Malenco ed Alpi occidentali).

Come è noto, i silicati non hanno sempre una composizione chimica definita, nel senso che si tratta di miscele isomorfe in cui due o più ioni metallici possono coesistere nel medesimo reticolo cristallino in proporzioni variabili. Di essi si può dare quindi un'identificazione mineralogica o cristallografica piuttosto che chimica.

La loro struttura fibrosa, come la loro resistenza termica ed elettrica, li presta ad applicazioni tecniche svariatissime, soprattutto come isolanti termici ed elettrici. Quanto più lunghe e flessibili sono le fibre, tanto più esse si sottopongono alla tessitura e si prestano ad usi svariati.

Col termine “amianto” si indica quindi una famiglia di minerali fibrosi di cui diamo qui sotto un elenco delle specie più comuni con qualcuna delle caratteristiche. Fra le specie più usate (per il fatto di presentare fibre più sottili e flessibili) è l'”amianto di serpentino” o “crisòtilo” che si indica in italiano anche come “asbesto”. Purtroppo, il termine “asbesto” viene usato in inglese per indicare in generale tutte le specie mineralogiche di amianto, col risultato che nella letteratura si crea una deplorabile confusione e non sempre i traduttori si documentano su questa sinonimia.

Data la tossicità dell'amianto, le norme di igiene ambientale impongono spesso una identificazione dell'amianto in materiali largamente usati nell'industria e nell'edilizia, in vista di una sua neutralizzazione o rimozione. Poiché la tossicità non è la stessa per le varie specie mineralogiche di amianto, qualunque sforzo di identificazione dell'amianto in generale deve prevedere la determinazione delle singole specie mineralogiche, in particolare, della crocidolite e del crisotilo, che sono i più pericolosi². Esamineremo le principali tecniche usate.

¹ Dal greco “a” (particella privativa) e “miaino” (= corrompere) = incorruttibile, a causa della sua resistenza chimica e termica.

² In certi paesi, come l'Inghilterra, il rinvenimento di una sola fibra di crocidolite rende illegale l'uso di un qualunque materiale.

LE VARIE SPECIE DI AMIANTO

NB: In questo testo vengono usati concetti, termini ed abbreviazioni che andranno chiariti in qualche testo di mineralogia. Vedi anche il testo “Introduzione alla microscopia in radiazione polarizzata” dello stesso autore ed anche il manuale “Problemi tecnici della microscopia...”, entrambi presenti nello stesso sito.

Per “indice” si intende l’indice di rifrazione di un mezzo trasparente per la riga D del sodio. Col simbolo “D” si indicherà il potere birifrattivo (differenza fra l’indice massimo e minimo di un dato cristallo). “ n_γ ” indica il massimo indice di un cristallo trimetrico (generalmente con direzione parallela all’allungamento della fibra). n_α indica il minimo indice. Per “Nicol” si intende un qualunque filtro polarizzatore.

AMIANTO di SERPENTINO o **CRISOTILO** o “asbesto” in senso stretto. È un fillosilicato di magnesio, monoclinico. Varietà contenente nickel, di colore verdognolo, è la Garnierite. Simili, ma più rari, sono la Sepiolite e la Saponite. La varietà lamellare si chiama Antigorite, ma esiste anche una varietà compatta, detta Lizardite.

All’esame microscopico, questo minerale si riconosce per essere costituito da fibre sottili, lunghe, ricurve o ondulate. $D = 0,007$ (questo debole valore di D provoca colori d’interferenza molto tenui durante l’osservazione fra Nicol incrociati). $n_\gamma > 1,545$. $n_\alpha < 1,55$.

Il Crisòtilo rappresenta il 93 % della produzione mondiale di amianto.

AMIANTO di ANFIBOLO (silicati idrati di magnesio, ferro, calcio, eventualmente alluminio e sodio).

ROMBICO: **ANTOFILLITE** (con prevalenza di ferro e magnesio). Fibre corte. $n_\alpha \leq 1,665$. $n_\gamma < 1,67$. $D = 0,016 - 0,024$. Rappresenta meno di 1% della produzione mondiale.

MONOCLINI: **ACTINOLITE** o “Amianto d’Anfibolo” in senso stretto (contenente calcio, magnesio, ferro e fluoro). Esiste una varietà granulare. L’estinzione è obliqua³. $n_\gamma \geq 1,64$. $n_\alpha = 1,617 - 1,66$. $D = 0,02$.

AMOSITE, o “amianto bruno”, simile al precedente. La varietà lamellare si chiama GRUNERITE e quella granulare CUMMINGTONITE. È priva di pleocroismo⁴. $n_\gamma = 1,69$. $n_\alpha = 1,67 - 1,68$. $D = 0,014 - 0,022$. Costituisce il 2,5 % della produzione mondiale.

CROCIDOLITE o “amianto del capo” o “amianto azzurro”. È la specie più pericolosa per l’uomo. La varietà granulare è detta RIEBECKITE. Il pleocroismo è forte; la direzione di n_α è, insolitamente, parallela alla fibra ed è quella che dà il colore di pleocroismo più forte (blu). Debole birifrazione ($D = 0,004 - 0,008$). $n_\gamma > 1,68$. $n_\alpha > 1,677$. Fibre lunghe. Corrisponde al 3,5 % della produzione mondiale.

TREMOLITE, ricca di Magnesio e Calcio. Estinzione obliqua. $D = 0,002$. $n_\gamma \leq 1,64$. $n_\alpha \geq 1,6$.

Altro minerale con struttura fibrosa, ma poco utilizzato per avere fibre corte e rigide, è la:

WOLLASTONITE. Si tratta di un pirosseno (silicato di Calcio), triclino o monoclinico, con estinzione sempre obliqua. $D = 0,014$. $n = 1,6 - 1,65$. Elongazione positiva (l’indice maggiore, n_γ , si presenta con radiazione polarizzata vibrante in direzione parallela alla fibra) o

³ La posizione di estinzione di un cristallo è quella in cui le direzioni di massimo o minimo indice di esso sono parallele alle direzioni principali dei Nicol incrociati ed il cristallo diviene scuro come il fondo immagine. Nel caso di “estinzione parallela” o, rispettivamente, “obliqua”, la fibra “estinta” risulta parallela o obliqua rispetto alle direzioni principali. In altre parole, la direzione del n_γ risulta parallela od obliqua rispetto all’allungamento della fibra.

⁴ Differenze di colore a seconda della direzione del piano di polarizzazione del fascio incidente.

negativa (n_{γ} in direzione ortogonale alla fibra).

Elenchiamo ora altri materiali fibrosi che, se di piccole dimensioni, possono confondersi coll'amianto ad un'analisi superficiale.

FIBRE ORGANICHE NATURALI

Hanno in genere una struttura irregolare ed una superficie non liscia. Anche il diametro non è uniforme, generalmente superiore a 10 μ . Manca pleocroismo. L'elongazione è positiva, quindi l'indice in direzione parallela alla fibra (n_{\parallel}) è sempre maggiore di quello in direzione perpendicolare (n_{\perp}).

Canapa	$n_{\parallel} = 1,591$	$n_{\perp} = 1,526$	$D = 0,065$
Cotone	$n_{\parallel} = 1,577$	$n_{\perp} = 1,528$	$D = 0,050$
Lino	$n_{\parallel} = 1,594$	$n_{\perp} = 1,532$	$D = 0,065$
Juta	$n_{\parallel} = 1,578$	$n_{\perp} = 1,536$	$D = 0,045$
Lana	$n_{\parallel} = 1,557$	$n_{\perp} = 1,547$	$D = 0,009$
Seta			$D = 0,056$
Ramie			$D = 0,080$

Peli animali Struttura e rugosità superficiale caratteristiche per ogni specie animale.

Occorre un confronto con campioni noti. $D = 0,010$

Fili di ragno Soprattutto quando si prelevano campioni di polveri sospese in aria (con apposite pompe munite di filtro) o da discariche, non è raro rinvenire fili di ragno. Essi somigliano a crisotilo, ma si distinguono per essere generalmente isolati, mentre il crisotilo compare in genere in fasci di fibre più sottili, spesso ondulati.

Rizine di muschi o peli radicali di qualunque cormofita (felci e piante superiori), frequenti nelle discariche. Si tratta di fibre cellulosiche molto fini (vedi sotto), otticamente simili a certe specie di amianto. La discriminazione può venire dal fatto che si osservano fibre isolate, generalmente lunghe, di forma e diametro non regolare. Anche le ife dei miceli di funghi sono spesso presenti dove vi è del terriccio.

Cellulosa Per questo tipo di fibra occorrerebbe una trattazione separata in quanto esso può provenire da quasi tutti i materiali di origine vegetale: prodotti agricoli di ogni genere, foraggi, ortaggi, cereali, ecc., nonché prodotti forestali, legnami, risulti, ecc. Tutti questi materiali vanno poi in genere soggetti ad ogni sorta di lavorazione, frantumazione, sfilacciatura, ecc. al fine di ottenere prodotti svariati, come carta, cartone, "truciolari", imballaggi, combustibili, ecc. Ne risulta che la cellulosa può provenire da numerosissime specie vegetali ed essere trasportata e dispersa in tutti gli ambienti. Raccogliere un campione sospettato di contenere amianto a qualche chilometro di distanza da una falegnameria, da una trebbiatrice in azione o da un fienile, richiede dunque la capacità di discriminare fra cellulosa ed amianto, e ciò diviene molto difficile in quanto la cellulosa ha generalmente struttura fibrosa e può generare fibre di ogni dimensione e forma. Quando le dimensioni sono di almeno 10 \times 20 μ , la cellulosa si riconosce in radiazione polarizzata (fra Nicol incrociati) per l'andamento irregolare delle fibrille, spesso ondulate, per i margini frastagliati, almeno nel senso della lunghezza, ecc., ma per piccole dimensioni la discriminazione rispetto all'amianto è problematica in quanto la cellulosa mostra caratteristiche ottiche simili a quelle di amosite, antofillite, ecc.

FIBRE ORGANICHE ARTIFICIALI

Hanno in genere diametro costante e superiore a 10 μ , superficie liscia e forte trasparenza.

Sezione circolare. L'elongazione è positiva e non si presenta pleocroismo. $n_{\parallel} < 1,575$.

Dacron	$D = 0,180$
Ramie	$D = 0,080$
Nylon	$D = 0,060$
Rayon viscose	$D = 0,020$

Rayon acetato	D = 0,006
Orlon	D = 0,002
Arnel	D = 0,001

Fanno eccezione le fibre in:

Poliestere per un elevato valore di $n_{\parallel} = 1,706$. $n_{\perp} = 1,546$. $D = 0,16$.

Resine Acriliche per un'elongazione negativa (n_{α} parallelo alla fibra). $n = 1,514$ circa. $D = 0,005$.

FIBRE IN VETRO (lana di vetro)

Sono isotrope (monorifrangenti), e quindi non si formano i colori d'interferenza fra Nicol incrociati. $n = 1,515$. Diametro assai costante lungo la fibra; superficie liscia; grande trasparenza. Sezione quasi sempre circolare (vedi la fig. 13).

LANE DI ROCCIA (ottenute per soffiatura da lave fuse)

Hanno molto in comune con la lana di vetro, ma colore generalmente bruniccio. Il diametro può essere meno uniforme rispetto al vetro e l'indice maggiore.

MATERIALI NON FIBROSI

Oltre ai materiali fibrosi elencati, un campione in esame può contenere svariati materiali non fibrosi. La forma dei granuli consente una rapida discriminazione rispetto all'amianto, ma è bene che l'analista si familiarizzi con questi materiali estranei per meglio orientarsi. Elenchiamo i più comuni.

Frammenti di vetro. Riconoscibili per la trasparenza e l'assenza di birifrazione.

Frammenti di cellulosa. Forma frastagliata, forte birifrazione con elongazione positiva.

Carbonio. Piccole dimensioni, colore opaco, nerissimo, frequente sui filtri usati per raccogliere le polveri sospese in aria (scarichi di autoveicoli, impianti di riscaldamento, industrie, ecc.).

Carbonato di calcio. Forte birifrazione; solubilissimo in acidi anche deboli e diluiti.

Amido. Forma regolare, caratteristica della specie vegetale; struttura a straterelli concentrici; forte birifrazione, con formazione della "croce di Malta" nera fra Nicol incrociati. Per es., può capitare di trovare amido di riso in un campione di polvere in aria raccolto in una sala operatoria, dove i chirurghi si spalmano le mani con "talc vegetale", che è appunto una specie di fecola finissima.

Quarzo (sabbie ed affini, spesso incorporato in molti tipi di rocce e terreni). Aspetto simile a quello del vetro, ma con debole birifrazione.

Argilla (da rocce, fanghi, terreni). Diffusissima. Frammenti minutissimi, birifrangenti.

Nell'elenco che precede si sono citati i costituenti più comuni rinvenibili in un campione, e dovrebbe risultare ovvio che, per un riconoscimento più ampio possibile, l'analista deve conoscere bene i materiali artificiali, in particolare le fibre tessili, ma deve anche conoscere tutti i materiali naturali possibili. Il curriculum più indicato è quello del Naturalista, figura oggi in via di estinzione. Esso dovrà possedere buone conoscenze di Cristallografia, quindi di Mineralogia, quindi di Geologia, ed inoltre di Botanica, Chimica, Merceologia, ecc.

Dovrà conoscere anche i principi dell'ottica, della microscopia, ed in particolare delle tecniche in radiazione polarizzata. Potrà essere utile in questo senso la lettura del manuale "Problemi tecnici della microscopia...", del breve testo "Introduzione alla Microscopia in radiazione polarizzata" (passim) e della letteratura citata in Bibliografia (che riporta a sua volta altre fonti bibliografiche).

Per l'esame di materiali di discarica, come per altri campioni misti che esamineremo, sarebbe di grande aiuto lo studio di una serie di "vetrini campione" confezionati con materiali certi ed omogenei. Una serie di vetrini-test si può preparare con poca spesa e fatica,

“montando” fra porta-oggetti e copri-oggetto (o lamella) un campione di cui si conosca con certezza la natura; si effettui il montaggio con Balsamo del Canada naturale poiché quello artificiale col tempo si condensa in strutture birifrangenti che ostacolano l’osservazione e “si ritira”, consentendo l’ingresso dell’aria fra i due vetrini. Il problema è solo di procurarsi campioni certi di tutti i materiali che si può prevedere di dover esaminare.

Prima di qualunque esame, l’analista si preoccuperà di impratichirsi con questi campioni noti, tenendo presente che lo stesso materiale, lo stesso minerale, ecc. può presentarsi con caratteristiche diverse a seconda della miniera di provenienza, del trattamento subito, ecc.

Ulteriori informazioni su materiali fibrosi naturali ed artificiali si trovano, per es., nella voce (1) della bibliografia.

L’ORIGINE DEI CAMPIONI

Prelievo e trattamento

MATERIALI DI DISCARICA

È ovvio che in una discarica, specialmente se abusiva e non controllata, si può trovare di tutto. L’analista alla ricerca dell’amianto deve quindi essere in grado di riconoscere (e non contare per amianto) qualunque altro materiale fibroso. Poiché una discarica è in genere il frutto di successivi apporti, occorrerà raccogliere molti campioni in vari punti ed a varia profondità.

I campioni andranno trattati in modo da liberarli da materiali estranei disturbanti (carbonato di calcio, ad es.) e con tecniche simili a quelle usate per i pannelli termoisolanti o fonoassorbenti: in genere con trattamento acido (HCl), neutralizzazione con ammoniaca, e lavaggio in acqua (vedi il lucido e rigoroso articolo alla voce bibliografica (2)). Se il campione contiene materiali grossolani, andrà setacciato opportunamente. Un lavaggio in acqua su filtro a porosità 3 – 5 μ può eliminare le componenti più fini (per es. argille).

PANNELLI isolanti

In questi materiali, le fibre vengono almeno in parte legate fra loro da vari materiali organici (varie resine sintetiche, ed es.) o inorganici (spesso, carbonato di calcio). Se il campione è coerente (rivestimenti isolanti, fibro-cemento, pannelli, ecc.), esso va prima disgregato. Poiché il legante è costituito in genere da calce (carbonato di calcio) o da cemento (il cui legante è in parte ancora carbonatico), dopo il trattamento in acido cloridrico, già visto, si asciuga e si disgrega quanto rimane con mezzi meccanici.

Il pannello inoltre è spesso formato da vari strati di varia composizione. Occorrerà quindi prelevare un campione che contenga tutti gli strati del pannello. Sotto un microscopio stereoscopico, il campione andrà dissociato nei vari strati e da ognuno di essi si estrarrà un sotto-campione.

Per il trattamento dei sotto-campioni, vedi ancora la voce (2) e la (3).

FILTRI di impianti di condizionamento dell’aria

I problemi sono simili a quelli dei pannelli isolanti, ma non esistono in genere leganti fra le particelle di polvere o le fibre, per cui il campione andrà trattato con molta cura. Con opportuni lavaggi, il materiale polverulento-fibroso andrà separato dalla trama del pannello filtrante e raccolto per filtrazione.

POLVERI SOSPESE IN ARIA

La raccolta delle polveri si esegue in genere a mezzo di una pompa che aspira una quantità prefissata di aria e la fa passare attraverso un filtro finissimo di superficie determinata. La standardizzazione del metodo, in particolare del volume d'aria aspirato, consente valutazioni quantitative ed il confronto con altri ricercatori. Prima dell'esame ottico, il filtro andrà "diafanizzato" in modo che la sua struttura discontinua scompaia e non intralci l'esame al microscopio. Il procedimento varia a seconda della natura del filtro; per certi filtri a membrana in cellulosa, può bastare l'impregnazione in olio da immersione o olio di vaselina il quale, avendo un indice molto simile a quello della cellulosa, le toglie il potere diffondente e la fa otticamente scomparire. Per i dettagli, vedi le voci bibliografiche (3), (4) e (5).

Metodo alternativo a quello dell'aspirazione attraverso un filtro è quello di separare le fibre in base alle loro dimensioni facendo passare l'aria da campionare attraverso una fessura con flusso orizzontale e con velocità ben calibrata; ponendo al di là della fessura un supporto opportuno, le fibre più grandi si depositeranno più vicino alla fessura, mentre le più fini andranno oltre (metodo dello "spettrometro inerziale").

Preparazione del materiale e criteri di conteggio

Una volta trattato il materiale incoerente (da discarica, pannelli, ecc.) o il filtro diafanizzato e dopo il disseccamento, si "monta" il materiale in un'opportuna resina sopra un comune porta-oggetti e lo si protegge con un copri-oggetto o lamella, tranne casi particolari.

Quello che conta dal punto di vista della nocività sull'uomo, è la probabilità che una certa fibra penetri a fondo nell'albero respiratorio e non venga rapidamente eliminata dalle normali difese organiche⁵; tale probabilità si può esprimere col termine di "respirabilità".

Dal punto di vista della respirabilità, si considerano pericolose le fibre con diametro non superiore a 3 μ e lunghezza superiore a 5 μ , con un rapporto lunghezza/diametro superiore a 3 (vedi la voce (5)).

Per i campioni di fibre di amianto in aria depositate su filtri, la soglia tollerabile normalmente accettata è 0,02 fibre/cm³ di aria, pari a 20 fibre/litro. Per le fibre di vetro si tollerano le fibre con un rapporto lunghezza/diametro minore di 2 ed un diametro maggiore di 5 μ .

L'IDENTIFICAZIONE DELLE VARIE SPECIE DI AMIANTO

Vista la diversa nocività delle varie specie mineralogiche di amianto e la frequente commistione con fibre innoque, occorre discriminare fra loro le varie specie di amianto e distinguerle da materiali estranei.

Le tecniche proposte ed in uso sono numerose. Accenniamo alle più usate, cercando di identificarne volta per volta vantaggi e limiti.

TECNICHE "GLOBALI" che non rivelano la morfologia né le dimensioni delle fibre

Misura del peso specifico

Come si rileva dalla tabella, i valori per ogni specie mineralogica sono abbastanza dispersi e mostrano ampi ricoprimenti. Non è possibile una diagnosi completa e del resto il campione dovrebbe contenere fibre di una sola specie.

Crisotilo: 2,36 – 2,5.

Antofillite: 2,85 – 3,5.

Actinolite: 3,03 – 3,5.

Tremolite: 2,9 – 3,2.

Amosite: 2,6 – 3.

Crocidolite: 3,0 – 3,45.

⁵ In particolare, la fagocitosi da parte dei macrofagi del sangue, cioè globuli bianchi particolari, che inglobano le particelle estranee più piccole.

Diffrazione di raggi X o di elettroni

Si tratta di tecniche largamente in uso nella diagnosi mineralogica. Consentono una diagnosi completa, anche su campioni misti e per piccolissime quantità di materiale, ed in tempi brevissimi.

In compenso, non possono discriminare fra forme fibrose, lamellari o granulari dello stesso minerale. Non consentono di misurare forma e dimensioni delle fibre. Richiedono apparati costosi e personale altamente specializzato.

Assorbimento spettrale nell'infrarosso (IR)(vedi bibliografia, (7)).

Lo spettro di assorbimento di molti corpi nella banda IR coinvolge gli stati vibrazionali delle molecole e consente quindi l'identificazione di molte sostanze a molecola anche complessa; gli spettri di assorbimento IR sono infatti assai più complessi di quelli nello spettro ottico.

Questa tecnica gode di vantaggi e limiti molto simili a quelli della tecnica precedente. Consente l'analisi di campioni su filtro, il cui spettro di assorbimento specifico può venire sottratto da quello globale del campione.

TECNICHE MORFOLOGICHE e FISICHE

Consentono di osservare e misurare le singole fibre, le loro dimensioni e forme, ed alcune caratteristiche ottiche. Si basano essenzialmente sull'osservazione al microscopio.

OSSERVAZIONE SEMPLICE DELLA FORMA

Può venir eseguita in campo chiaro, ma generalmente viene utilizzato il contrasto di fase (vedi l'articolo "La formazione dell'alone nel contrasto di fase", sul medesimo sito), in modo da avere immagini a forte contrasto anche quando le fibre sono immerse in un liquido di indice molto simile al loro.

Questa tecnica è semplice, non molto costosa, e può essere manipolata da persone senza preparazione specifica. Si applica anche a fibre singole, anche su filtro. Essa però non consente di discriminare né le varie specie di amianto fra loro, né fibre simili, specialmente la cellulosa. Non si tratta di un metodo di riconoscimento, ma solo di conteggio. Essa quindi può produrre errori di misura per eccesso, anche molto forti, a meno che non sia accertato che il campione contiene solo fibre di amianto, di una specie nota a priori.

Vedi le fonti bibliografiche (4) e (5).

MISURA dell'INDICE

Presuppongono che il preparato sia costituito da fibre tutte della stessa specie mineralogica. Infatti, tutte le specie di amianto sono birifrangenti biassiche e quindi il loro indice di rifrazione (n) oscilla fra un valore massimo (n_γ) ed uno minimo (n_α) a seconda della posizione della fibra rispetto al piano di polarizzazione del fascio che attraversa la fibra stessa. Uno dei valori estremi (n_α o n_γ) è in genere "parallelo" all'allungamento della fibra⁶ e può essere misurato su qualunque fibra. Invece, un altro valore di n è "perpendicolare" alla fibra e varia da un altro dei valori estremi (n_γ o n_α) ad uno intermedio (n_β) a seconda della direzione di propagazione della luce rispetto agli assi cristallografici della fibra. La misura di questo secondo valore dell'indice dipende quindi dalla posizione della fibra attorno al proprio asse (normalmente, la fibra si dispone spontaneamente sul vetrino in direzione perpendicolare all'asse ottico).

Se si osserva una singola fibra, non si può conoscere l'orientamento dei suoi assi cristallografici⁷ e quindi non si sa come interpretare il valore dell'indice "perpendicolare" così misurato. Se invece il preparato contiene molte fibre della stessa specie, si misura l'indice (perpendicolarmente alla fibra) di molte fibre con la speranza che il valore massimo o minimo

⁶ Cioè si presenta quando la radiazione oscilla in una direzione parallela alla fibra.

⁷ E neppure è pensabile di ruotare la fibra attorno a se stessa con un paio di pinzette.

rilevato sia molto vicino al secondo valore estremo (n_γ o n_α).

Poiché il valore dell'indice dipende dall'orientamento del piano di vibrazione della radiazione che attraversa un cristallo⁸, queste tecniche vanno eseguite in luce polarizzata, col solo polarizzatore, orientando ogni volta (a mezzo di un tavolino girevole) la fibra in direzione parallela e perpendicolare alla direzione principale del polarizzatore.

Ciò premesso, per la misura dell'indice si usa in genere il **metodo dell'immersione**: si immerge il campione (disposto fra portaoggetti e lamella) in un liquido di indice noto. La differenza di indice fra fibra e liquido crea un certo contrasto sui contorni della fibra, la rende visibile, e tale contrasto scompare quando i due indici sono uguali.

Basterebbe quindi variare l'indice del liquido, o piuttosto bagnare le fibre in liquidi di diverso indice, finché il contrasto nella loro immagine scompare; ovviamente con più misure, eseguite variando l'orientamento della fibra rispetto alla luce polarizzata, ecc.

Ebbene, ciò è possibile quando il campione è abbastanza abbondante ed omogeneo da consentire la realizzazione di più vetrini con più liquidi di diverso indice; la misura si effettua poi su numerose fibre. Ma con campioni scarsi, o misti o su filtro, cioè con un unico preparato irripetibile e/o non omogeneo, ciò non è possibile. La singola fibra, poi, andrebbe persa durante la sostituzione del liquido e non si può ripetere la misura su di essa.

E ancora, l'immersione a volte non funziona per campioni su filtro poiché si basa sulla differenza di indice fra fibra e liquido circostante. Se il supporto del filtro (derivati della cellulosa) viene diafanizzato per dissoluzione in liquidi o vapori (vedi (3), (5), ecc.), la fibra rimane inglobata nel materiale del filtro ed il salto di indice viene alterato.

Per finire, l'indice del liquido varia con la temperatura, e di ciò occorrerà tener conto. I produttori di liquido ad indice calibrato forniscono anche i valori di indice in funzione della temperatura.

La misura dell'indice può portare ad una discriminazione più o meno completa delle specie di amianto, ma non può applicarsi a singole fibre per quanto detto sopra, cioè per il fatto che l'indice "perpendicolare" dipende dall'orientamento della singola fibra, ovviamente ignoto.

Tecnica del contrasto ("Contrast effect")(vedi (8) e il manuale "Problemi tecnici della microscopia...", Cap. 28).

Ogni oggetto di forma globosa si comporta come una lente e, osservato in campo chiaro, presenta una regione centrale più chiara. Le dimensioni e la brillantezza di questa regione variano durante la focalizzazione e consentono di verificare l'uguaglianza di indice fra granulo e liquido. Si rientra dunque nel metodo basato sulla misura dell'indice.

Questa tecnica è utile per materiali granulari, ma non risulta facilmente applicabile a materiali fibrosi.

Tecnica della linea di Becke (vedi il manuale "Problemi tecnici della microscopia...", Cap. 28, nonché le voci bibliografiche (8), (9) ecc.).

L'orlo scuro che si forma attorno a qualunque oggetto immerso in un liquido, la ben nota "linea di Becke", si sposta verso l'interno o l'esterno dell'oggetto durante la focalizzazione e scompare solo quando l'indice dell'oggetto e del liquido si corrispondono. La sensibilità del metodo può arrivare alla terza cifra decimale nel valore dell'indice per fibre di diametro superiore a 3 – 5 μ .

Questa tecnica presenta sorgenti di errore quando la differenza di indice è molto forte o quando la forma dell'oggetto è irregolare e con orli cuneiformi: lo spostamento della linea scura si può addirittura invertire.

Quando la differenza di indice, e quindi il contrasto, sono troppo piccoli, si aumenta la sensibilità del metodo usando gli accessori per il contrasto di fase: si può arrivare ad una precisione della quarta cifra decimale sul valore di indice. Anche qui, però, una forte differenza di indice può alterare i risultati per il noto fenomeno della "inversione del contrasto" (vedi

⁸ Tranne, come è noto, per i cristalli monometrici, ma tutte le specie di amianto sono trimetriche.

l'articolo "La formazione dell'alone nel contrasto di fase", sul medesimo sito).

Del resto, la dispersione, la variabilità, nei valori dell'indice dei minerali consiglia di abbinare la misura dell'indice al rilevamento delle proprietà in luce polarizzata, come spiegato più sotto e in (2), (9), ecc.

Qualcosa di simile alla linea di Becke si ottiene con una applicazione particolare dell'illuminazione obliqua (vedi il manuale "Problemi tecnici della microscopia...", Cap. 18.9 e 30.2): parliamo del metodo di Schröder van der Kolk, di Saylor e simili (vedi (12)).

La "dispersione colorata" ("Dispersion staining" o "Optical staining")(vedi (6), (10), (11) e (12))

È una tecnica largamente usata dagli autori americani. Consente una misura dell'indice con immersione dell'oggetto in liquidi ad indice calibrato, con tutti i limiti citati, ma con un ridotto numero di liquidi. Nel lavoro (6) se ne consigliano quattro (per l'identificazione di cinque specie di amianto), con indice 1,550 - 1,580 - 1,670 - 1,700.

Infatti, questa tecnica sfrutta la "dispersione dell'indice", cioè la variazione del valore dell'indice in funzione della lunghezza d'onda. Tale dispersione è in genere maggiore per i liquidi che per i solidi (fig. 1). Per ogni coppia «oggetto solido - liquido» può esistere un valore di lunghezza d'onda (λ_0) per il quale i due indici si eguagliano e la linea di Becke scompare.

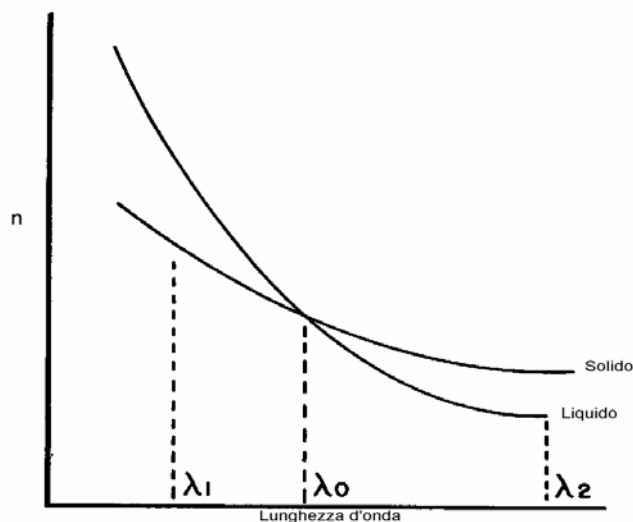


Fig. 1 - Schema di curve di dispersione dell'indice (in ordinata) in un liquido ed in un solido al variare della lunghezza d'onda (λ , in ascissa).

Se tale valore λ_0 si trova più o meno al centro dello spettro ottico, succederà che per le lunghezze d'onda minori (λ_1 , regione spettrale del blu-viola), si formerà una linea di Becke blu con un certo contrasto; nella regione giallo-rosso (λ_2) si avrà un contrasto opposto.

Con una serie di tre o quattro liquidi opportunamente calibrati e dotati di forte dispersione, si troverà sempre, per ogni specie di amianto, un valore di λ_0 che rientri nello spettro ottico. In questo modo, per ogni valore degli indici dell'oggetto, le frange colorate prodotte dalla dispersione dell'indice avranno un diverso colore e consentiranno una diagnosi.

Rimane l'esigenza di usare luce polarizzata, misurare gli indici in direzione parallela e perpendicolare alla fibra, eseguire la misura su molte fibre, ovviamente sapendo già che appartengono alla stessa specie, ecc.

Questa tecnica è molto usata, ma richiede comunque la sostituzione del liquido, il che non è possibile per campioni compositi o per campioni su filtro, per le ragioni sopra illustrate.

Disponendo di materiale omogeneo, si ricorre alla confezione di vari preparati con diversi liquidi, ma nel caso di campioni misti o di campioni su filtro, come si è detto parlando in generale di tutte le tecniche di misura dell'indice, tutte le fibre il cui indice non è adattato a quello del liquido presente nel singolo preparato sfuggono all'esame e non sono recuperabili.

Molti laboratori raffinano la tecnica al fine di rendere più vivi i colori della dispersione. Sopra l'obbiettivo vengono posti degli schermi opachi di due tipi. Un primo tipo, detto "anulare" serve solo a ridurre l'apertura dell'obbiettivo⁹, e quindi, genericamente, ad aumentare il contrasto; il fondo immagine rimane chiaro. Il secondo tipo, detto "centrale", consiste in un dischetto opaco posto al centro della pupilla d'uscita dell'obbiettivo¹⁰; se un obbiettivo così modificato viene utilizzato con un fascio illuminante a bassa apertura (diaframma del condensatore molto chiuso), si ha il cosiddetto "campo scuro centrale"¹¹: il fondo immagine è più o meno scuro ed i colori da dispersione sono più saturi.

Viene utilizzato anche il campo scuro periferico (normale) con diaframma anulare nel condensatore. Per obbiettivi deboli è sufficiente un condensatore a fondo chiaro oppure uno dei diaframmi anulari del condensatore di fase.

Qualche autore consiglia, per rendere più sensibile la tecnica, il contrasto di fase, ma ciò può alterare i colori e può dare errori a causa dell'inversione del contrasto, già citata.

L'OSSERVAZIONE AL MICROSCOPIO POLARIZZATORE

Con questo strumento (vedi il testo "Introduzione alla microscopia in radiazione polarizzata", in questo sito) è possibile misurare alcune caratteristiche ottiche dei cristalli, caratteristiche che si manifestano, in parte, solo in radiazione polarizzata. Nel caso nostro, interessano le seguenti:

Pleocroismo (variazione del colore in relazione alla direzione di vibrazione della radiazione incidente). Si osserva col solo polarizzatore, ruotando il tavolino. Utile per il riconoscimento della crocidolite per la quale, ad n_α "parallelo", corrisponde un colore blu.

Elongazione: disposizione dell'indice minimo (n_α) in direzione perpendicolare (elongazione positiva) o parallela (e. negativa) all'allungamento della fibra. Si determina fra Nicol incrociati con un compensatore "Rosso di 1° ordine" orientato colla direzione di massimo indice (n_γ) in direzione NE¹². Il fondo immagine apparirà color magenta o porpora. Si dispone la fibra sempre in direzione NE. Se il suo colore vira al blu (per meglio dire, al cyan) la sua elongazione è positiva; se vira al giallo-arancio (giallo di sottrazione), è negativa (vedi le figure da 6 a 12).

La crocidolite è l'unica specie di amianto a presentare elongazione negativa.

Angolo di estinzione. È l'angolo fra la direzione di allungamento della fibra quando si trova in posizione "di estinzione" e le direzioni principali dei Nicol.

Si incrociano i Nicol e si eliminano eventuali compensatori. Il fondo immagine appare scuro. Si ruota il tavolino con il vetrino e la fibra finché essa scompare e "va in estinzione"; si misura la posizione azimutale del tavolino sull'apposita scala (fig. 2). Poi si ruota il tavolino e si porta la fibra ad essere parallela colla direzione principale di uno dei Nicol (segnata da uno dei bracci del crocefilo oculare). Si legge di nuovo la posizione del tavolino: la differenza fra le due letture dà l'angolo di estinzione. Se la fibra in estinzione non è parallela al crocefilo, si dice che "l'estinzione è obliqua" o "inclinata". Hanno estinzione obliqua la tremolite e l'actinolite. Si ricordi però che l'estinzione obliqua può apparire solo se il piano cristallografico contenente un certo asse non è perpendicolare al piano del tavolino, e cambia di valore a seconda della posizione della fibra attorno al proprio asse: misurare su molte fibre!

La **birifrazione** ($D = n_\gamma - n_\alpha$) si può calcolare misurando i due valori estremi dell'indice con uno dei metodi descritti, sempre in direzione parallela e perpendicolare alla fibra; una valutazione si può ottenere però direttamente in base alla saturazione dei colori d'interferenza

⁹ Tanto varrebbe usare un obbiettivo più debole (di minor apertura) con un oculare più forte ma, allora, chi comprenderebbe gli obbiettivi speciali col diaframma anulare?

¹⁰ con diametro pari a circa 1/3 di quello della pupilla

¹¹ "centrale" poiché il fascio illuminante è ad apertura stretta, mentre nel campo scuro classico il fascio illuminante ha un'apertura superiore a quella dell'obbiettivo.

¹² Intendiamo la direzione da Nord-Est (in alto a destra) a Sud-Ovest (in basso a sinistra) rispetto al campo visuale ed al piano mediano dello strumento.

che le fibre mostrano fra Nicol incrociati con e senza il compensatore “rosso di 1° ord”, se disposte obliquamente rispetto al crocefilo.

L'esperienza insegna poi che i colori d'interferenza di un materiale cristallino, in particolare di una fibra minerale, sono molto omogenei in tutta la fibra; ebbene, altri materiali fibrosi come la cellulosa, che in piccole dimensioni somigliano all'amianto per la forma e la birifrazione, si distinguono a dimensioni maggiori proprio perché la birifrazione non è uniforme ed i colori d'interferenza assumono un aspetto a chiazze (figg. 10, 11 e 12). Si avrà cura di operare fra Nicol incrociati col compensatore rosso 1° ord. disposto a 45° dai Nicol o in posizione “sub-parallela”.

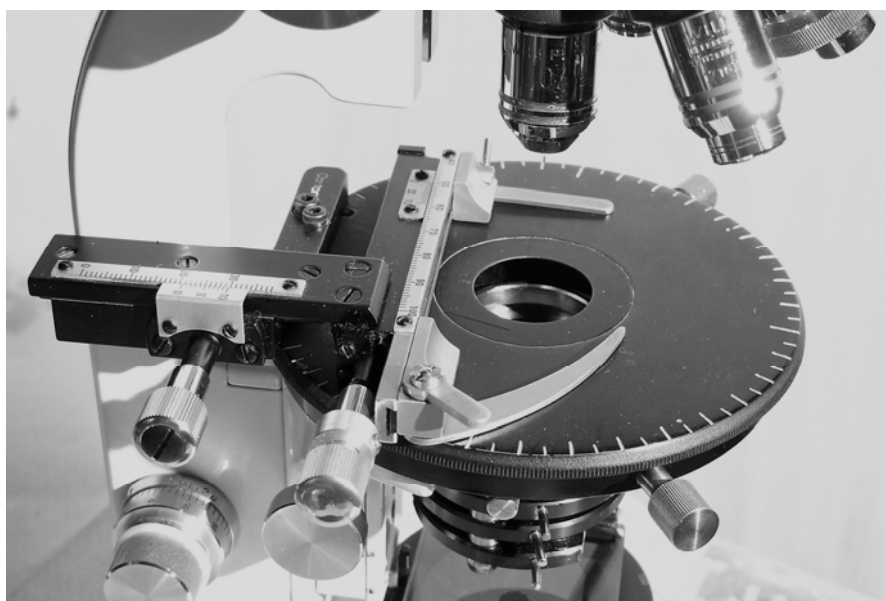


Fig. 2 – Esempio di semplice tavolino girevole per microscopio polarizzatore con guida-oggetti classico. Manca il nonio per la rotazione, mentre sono presenti i nonii per i movimenti del guida-oggetti. In basso a destra si vede una delle due viti di centratura.

L'uso del microscopio polarizzatore è preferito da molti autori europei e può portare ad una determinazione completa, ma richiede una grande preparazione degli analisti. Inoltre, su fibre isolate, non può fornire un valore certo per l'indice “perpendicolare” in quanto questo dipende, come si è detto, dall'orientamento della fibra attorno al proprio asse.

Molti autori uniscono il rilevamento delle caratteristiche in polarizzazione, appena descritto, colla misura dell'indice, ottenuta col metodo dell'immersione e della linea di Becke oppure della dispersione colorata (vedi le voci (2), (3), (9), (10), ecc.).

METODO SEMPLIFICATO COL MICROSCOPIO POLARIZZATORE (originale)

Premettiamo:

-- le specie mineralogiche più pericolose sono la crocidolite ed il crisotilo, e solo per queste è necessaria una determinazione certa;

-- i campioni da esaminare sono spesso costituiti da materiale misto e la sostituzione del liquido (per l'uso della linea di Becke o dell'immersione colorata) non è possibile;

-- i campioni su filtro escludono anch'essi la sostituzione del liquido e comunque, dopo diafanizzazione, le fibre possono essere inglobate nel materiale del filtro e non entrare in contatto col liquido;

-- può essere necessario e comunque comodo poter esaminare un solo preparato per ogni campione e poter eseguire determinazioni su ogni singola fibra (specialmente molti campioni su filtro possono contenere pochissime fibre).

Ciò premesso, può valere la pena di rinunciare alla misura dell'indice e limitarsi all'osservazione in radiazione polarizzata.

Le sei specie mineralogiche contrassegnate col termine generico di "amianto" sono quasi tutte distinguibili con questa tecnica semplificata per le caratteristiche morfologiche dei singoli cristalli (forma e dimensioni) e per il loro comportamento ottico in radiazione polarizzata.

Per l'osservazione si usa quindi un microscopio polarizzatore.

Come per le altre tecniche, il campione in cui si cerca l'amianto va prima trattato in modo da isolare le singole fibre. In ogni caso, si deve arrivare ad un residuo pulverulento in cui le componenti più grossolane o sono state dissociate meccanicamente, se fibrose, o sono state eliminate per setacciamento.

Il residuo viene poi montato in olio "da immersione" o resina ad indice di rifrazione controllato (intorno a 1,51) su un normale "vetrino" da microscopio.

Prima dell'osservazione a forte ingrandimento, è utilissimo un controllo a piccolo ingrandimento con microscopio stereoscopico, sia prima che dopo il disgregamento del campione, in modo da riconoscere i fasci di fibre, ed a volte le singole fibre, nella loro posizione e struttura originaria.

Durante l'esame a forte ingrandimento vengono messe in evidenza e riconosciute molte altre componenti fisiche del campione: fibra di vetro, fibra tessile artificiale e naturale, sabbia, argilla, carbonio, resti organici, ecc.

L'amianto è prima di tutto ravvisato in base alla forma filamentosa dei cristalli, al modo di unirsi delle fibre in fasci, alla costanza del diametro delle singole fibre, al tipo di frattura all'estremità delle fibre, ecc.

Poi, si osservano per ogni fibra e si misurano in radiazione polarizzata l'elongazione, l'angolo di estinzione, e la birifrazione. Il contrasto dà un'indicazione di massima dell'indice medio.

Sono riconoscibili senza ulteriori indagini (come la misura degli indici, del pleocroismo, ecc.) la Crocidolite, che è l'unica specie di amianto con elongazione negativa, ed il Crisotilo, per la forma delle fibre che sono lunghe, sottili, ricurve o ondulate, e per l'indice minore di 1,57, il che rappresenta il valore più basso nella famiglia dell'amianto e conferisce alle fibre un basso contrasto. Solo i colori d'interferenza fra Nicol incrociati e compensatore "rosso 1° ord." rendono visibili le fibre (fig. 7).

La tecnica è illustrata dallo schema visibile più avanti, che possiamo chiarire così:

Se si osserva elongazione negativa, è Crocidolite; se la fibra è grossa, si constata il pleocroismo (col solo polarizzatore) e si ha una conferma (fig. 5). L'indice è forte e quindi il contrasto ("rilievo") sarà forte.

Certe resine acriliche hanno comportamento ottico simile, ma si riconoscono per la forma cilindrica ed il diametro uniforme; inoltre, esse non si suddividono mai in fibre più sottili.

Se l'elongazione è positiva, si controlla l'angolo di estinzione. Se l'estinzione è obliqua, si tratta quasi certamente di Tremolite o Actinolite, ma la loro diffusione è assai scarsa e la loro tossicità ridotta (fig. 8).

Se l'estinzione è parallela, si riconosce il Crisotilo per avere fibre sottili in fasci spesso ricurvi (fig. 7). I colori d'interferenza, a Nicol incrociati, e magari col compensatore rosso 1° in direzione NE, sono pallidi poiché la birifrazione è modesta. Anche il contrasto è modesto per il basso indice.

Se le fibre sono corte e rigide con colori d'interferenza forti, si ricade nella coppia: Amosite - Antofillite.

Concludendo, il rilevamento delle proprietà in radiazione polarizzata con microscopio polarizzatore (elongazione, angolo di estinzione, valore approssimato della birifrazione, pleocroismo), anche senza la misura dell'indice, permette di discriminare i seguenti gruppi di specie mineralogiche: Amosite - Antofillite / Tremolite - Actinolite / Crocidolite / Crisotilo.

È sufficiente un solo preparato con un liquido di indice 1,51 - 1,55 e non vi sono difficoltà per l'esame di fibre isolate in campioni misti o su filtro poiché non è necessario cambiare

liquido. Come liquido può servire il comune liquido per gli obiettivi ad immersione (HI), che ha anche il vantaggio di diafanizzare direttamente molti filtri in cellulosa.

Le figure che seguono danno un'idea di come si presentano molti campioni.



Fig. 3 – Crocidolite dalla miniera di Pomfret (Sud Africa). Diversi campioni in diverso stato di disaggregazione. $M = 2,5 : 1$ (supponendo che la figura venga stampata rispettando il formato A4).



Fig. 4 – Crisotilo allo stato quasi naturale (a sinistra) e tessuto in forma di cordone (a destra). Evidentemente, si tratta di materiale più “morbido” della Crocidolite, in quanto le fibre sono più sottili e flessibili. $M = 2,5 : 1$.

CR24

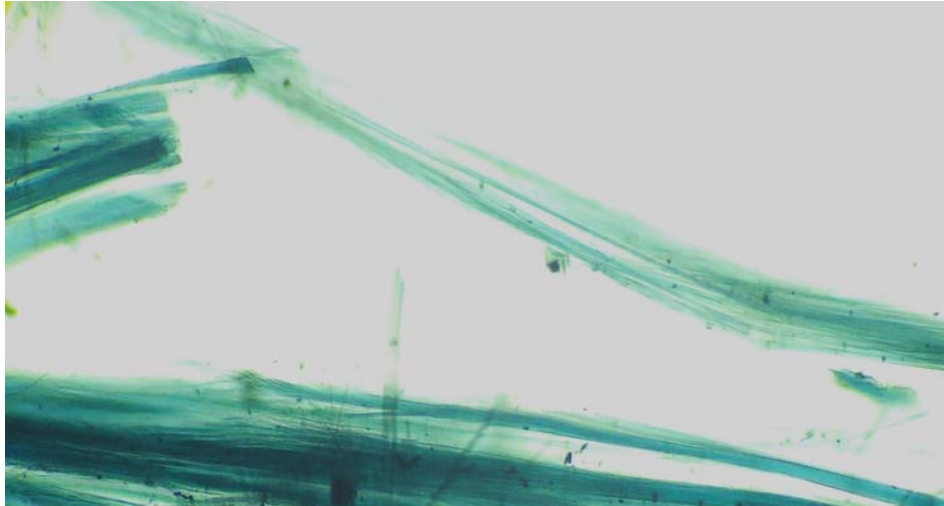


Fig. 5 – Crocidolite osservata col solo polarizzatore (con piano di vibrazione Est-Ovest). Si osserva il colore di pleocroismo (blu, in direzione parallela alla fibra), che diventerebbe grigio se la fibra fosse diretta verticalmente (la piccola fibra verticale al centro è infatti incolore). $M_{tot} = 200 : 1$ (rispetto alla figura sulla carta, se si rispetta il formato A4). Oculare ad alta pupilla.

Le figure seguenti sono tutte riprese con Nicol incrociati, polarizzatore con direzione di vibrazione Est-Ovest, compensatore rosso 1° ordine, con direzione di massimo indice (n_{γ}) a NE (da alto a destra, a basso a sinistra). Il colore di fondo magenta è creato proprio dal compensatore.

CR24

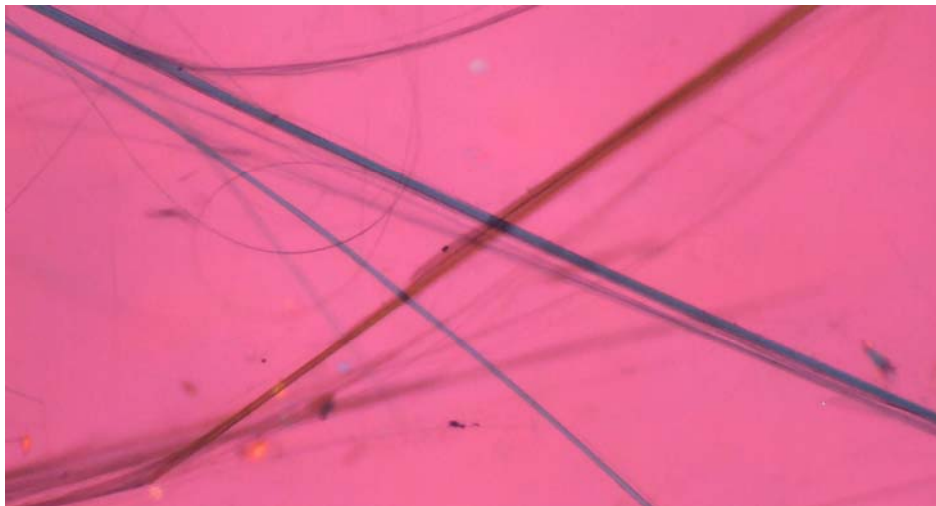


Fig. 6 – Crocidolite. L'elongazione è negativa poiché le fibre appaiono blu quando sono dirette dal quadrante NO al SE¹³. Le fibre giacenti nei quadranti opposti (da NE a SO) appaiono giallastre. $M_{tot} = 200 : 1$ (sulla carta).

¹³ Nel caso della crocidolite, questo blu è rinforzato dal colore blu di pleocroismo, mentre il giallo è meno vivo: basta confrontare con i colori delle foto seguenti.

CR28

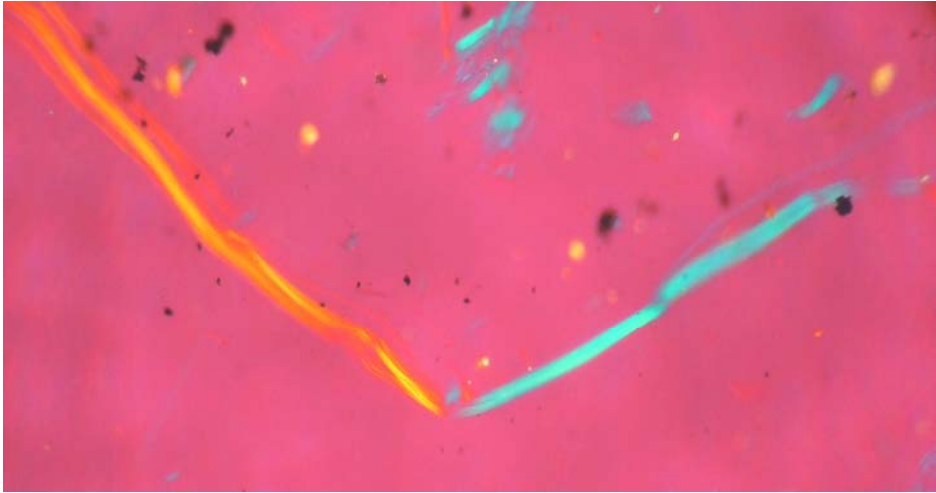


Fig. 7 – Crisotilo. Si noti il basso contrasto (basso indice), l'andamento ondulato, la struttura a fibre sottilissime riunite in fasci e l'elongazione positiva (le fibre appaiono blu se dirette da NE a SO e gialle se comprese negli altri due quadranti: lo stesso fascio può cambiare colore se è incurvato, come avviene qui). $M_{tot} = 100 : 1$ (sulla carta).

CR26

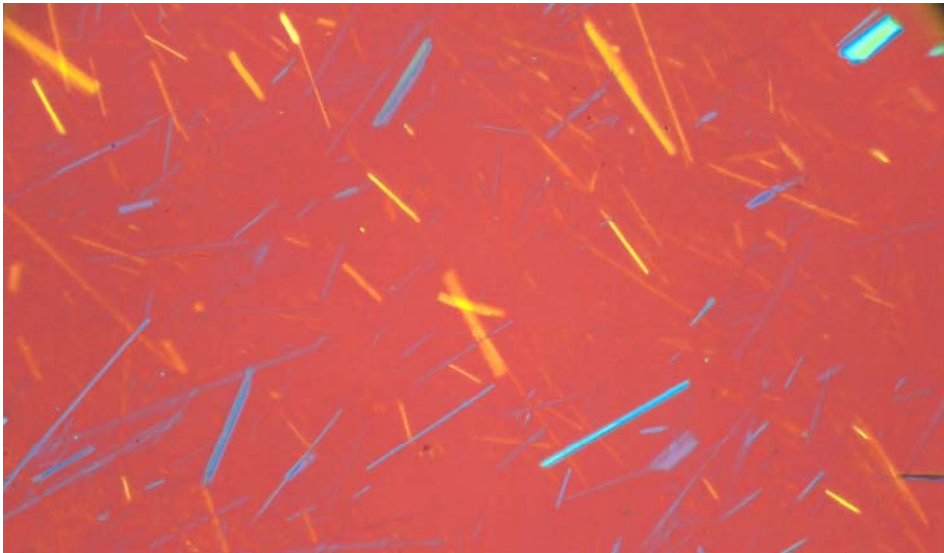


Fig. 8 – Tremolite e/o Actinolite. Fibre corte e diritte. Elongazione positiva. $M_{tot} = 200 : 1$ (sulla carta).

CR13

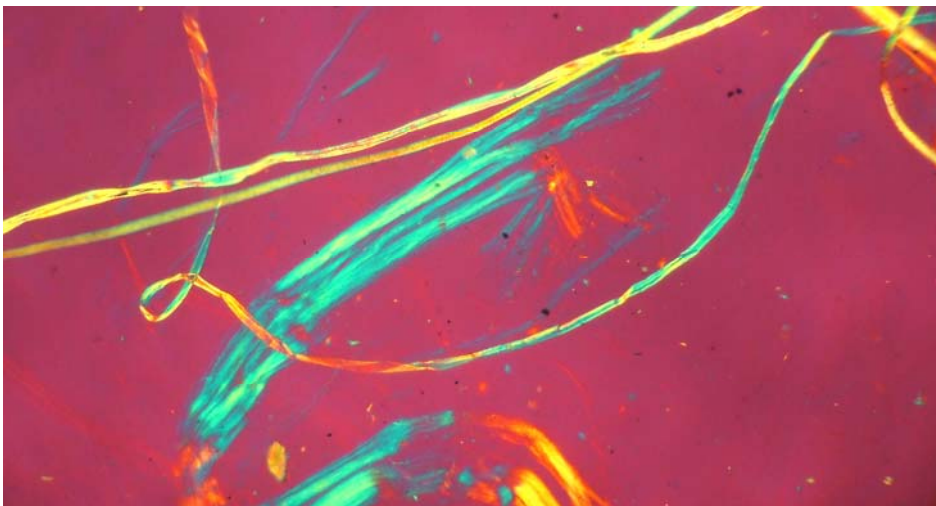


Fig. 9 – Cordone isolante contenente Crisotilo (fascio grosso dritto al centro e fascio incurvato in basso), cotone

(fibra isolata ricurva che forma un occhiello a sinistra; si noti l'attorcigliamento della fibra, dovuto alla sua sezione appiattita), e fibre sintetiche (fibra di diametro costante che parte dalla metà del lato sinistro della figura, con colore indefinito dovuto alla sua forte birifrangenza). $M_{tot} = 100 : 1$ (sulla carta).

CR9

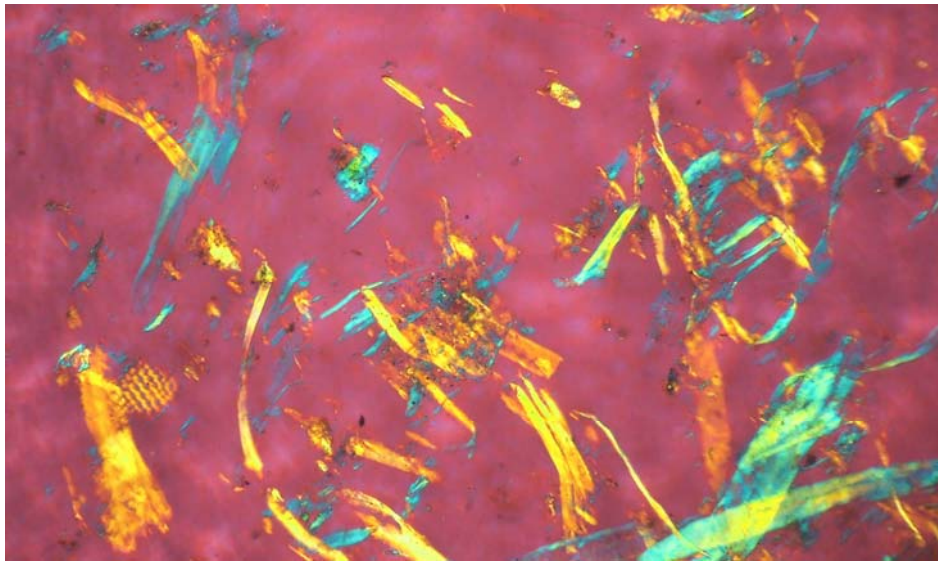


Fig. 10 – Frammenti di cellulosa provenienti da detriti cartacei. Si noti la forma irregolare, l'elongazione positiva e la non omogeneità dei colori d'interferenza. $M_{tot} = 100 : 1$ (sulla carta).

CR8

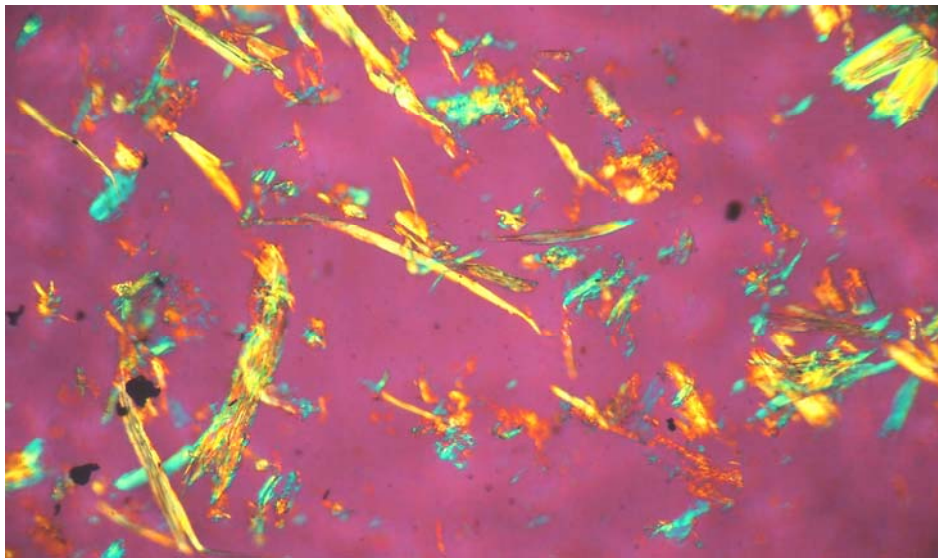


Fig. 11 – Frammenti di cellulosa provenienti da segatura di pioppo (*Populus alba*). Caratteristiche simili a quelle della figura precedente. $M_{tot} = 100 : 1$ (sulla carta).

CR8

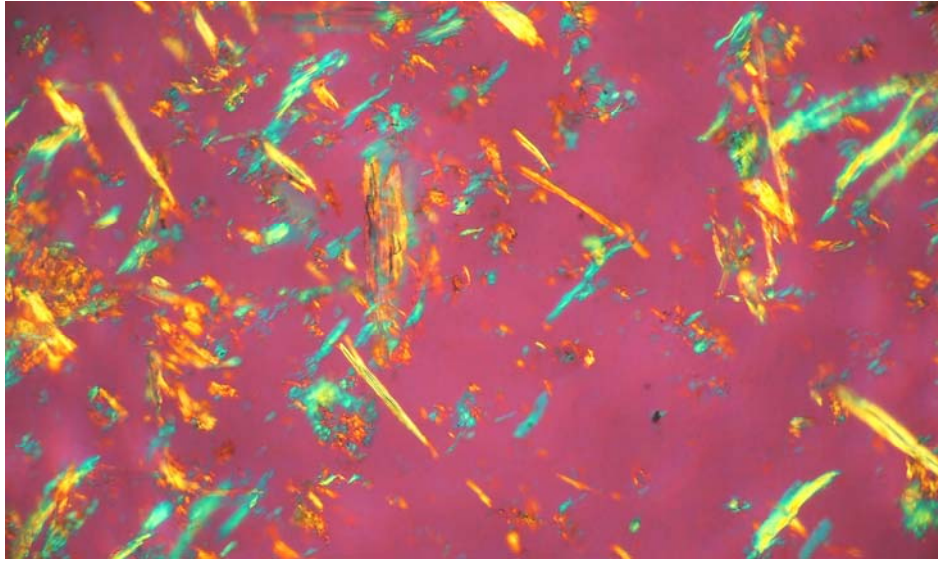


Fig. 12 – Frammenti di cellulosa da segatura di Abete rosso (*Picea excelsa*). $M_{tot} = 100 : 1$ (sulla carta).

CR13



Fig. 13 – Fibre di vetro. Notare l'andamento dritto a diametro costante, lo scarso rilievo (indice simile a quello della resina di montaggio) e l'assenza di colori d'interferenza, dovuto alla mancanza di birifrazione. Le fibre di vetro si possono confondere solo con la lana di roccia.

IDENTIFICAZIONE PARZIALE delle SPECIE di AMIANTO
 CON MICROSCOPIO POLARIZZATORE, SENZA MISURA dell' INDICE di RIFRAZIONE

ELONGAZIONE ¹⁴ -----→ *NEGATIVA* (indice minimo (n_α) parallelo alla fibra)

↓ CROCIDOLITE : $D^{15} = 0,004/8$ (colori deboli); fibra lunga;
 ↓ Pleocroismo forte (blu parallelo¹⁶ alla fibra);
 ↓ estinzione¹⁷ parallela; indice forte ($n = 1,67 - 1,7$) per cui la
 ↓ fibra appare con forte "rilievo" (contrasto)¹⁸.
 ↓ RESINE ACRILICHE : $n_\alpha > 1,68$; $n_\gamma < 1,70$. Diametro costante; forma
 ↓ cilindrica, flessibile. Non si suddivide in fibre più sottili.

↓ *POSITIVA*

↓ (indice massimo (n_γ) parallelo alla fibra)

↓ ESTINZIONE¹⁷ -----→ *OBLIQUA* ($< 20^\circ$) D forte (circa 0,02). Fibre diritte. Minerali rari.

↓ TREMOLITE $n_\alpha > 1,59$; $n_\gamma < 1,64$
 ↓ ACTINOLITE $n_\alpha > 1,61$; $n_\gamma < 1,67$. Pleocroismo verde.

↓ *PARALLELA*

↓ D debole
 ↓ -----→ Fibre lunghe, sottili, curve o ondulate; $D = 0,008$ (colori pallidi); $n_\alpha > 1,5$;
 ↓ $n_\gamma < 1,57$ (poco contrasto con liquidi di indice 1,5 circa)
 ↓ CRISOTILO¹⁹ È l'amianto con l'indice più basso²⁰.

↓ D forte (= 0,02 circa). Fibre diritte, rigide.

AMOSITE A volte estinzione obliqua (fino a 15°) $n_\alpha > 1,66$; $n_\gamma < 1,70$; per fibre di $\varnothing = 30/40 \mu$
 i colori di interferenza arrivano al giallo di 2° ordine.

oppure:

ANTOFILLITE Sempre estinzione parallela. Rara. $n_\alpha > 1,59$; $n_\gamma < 1,67$; per fibre di $\varnothing = 30/40 \mu$,
 i colori d'interferenza arrivano al rosso di 2° ordine.

NB : La WOLLASTONITE, che non è un vero amianto, può essere confusa coll'amianto, ma ha fibra corta e
 sempre estinzione obliqua; la sua elongazione può essere negativa.

¹⁴ L'elongazione si controlla fra polarizzatori incrociati con il compensatore "Rosso 1° ord." e con la fibra diretti in direzione NE (vedi la nota 12): se i colori di interferenza "salgono" nella serie di Newton, cioè la fibra tende al blu, il massimo indice (γ) della fibra è parallelo al suo allungamento (elongaz. positiva). Se i colori "scendono", cioè la fibra tende al giallo, il γ della fibra è perpendicolare al suo allungamento (elongaz. negativa).

¹⁵ D indica il potere di birifrazione (differenza fra gli indici massimo (γ) e minimo (α)). Se D è forte ($> 0,015$), una fibra con $\varnothing > 5 \mu$ appare a colori vivaci.

¹⁶ Osservare i colori di pleocroismo col solo polarizzatore orientato con la propria direzione principale parallela alla fibra.

¹⁷ L'estinzione è parallela quando, ruotando il tavolino fino ad avere la minima luminosità nella fibra, essa risulta parallela ad uno dei fili del crocefile. È obliqua in caso contrario. Questo esame si esegue fra polarizzatori incrociati senza compensatore. Le fibre vegetali (carta, legno, ecc.) hanno estinzione incompleta e/o non simultanea in tutti i punti della fibra; per meglio verificare questa situazione, conviene inserire il compensatore λ (Rosso 1°) in posizione sub-parallela (prossimo alla condizione di estinzione).

¹⁸ In fibra sottile, la crocidolite appare con colori pallidi poichè D è piccola, ma con pleocroismo forte (il giallo di 1° ordine appare verdastro) e con contrasto forte in liquidi con $n < 1,55$ (indice elevato della fibra). Per meglio riconoscere l'elongazione si proceda così: nessun compensatore; diafr. d'apertura aperto; ingrandim. d'obb. ≥ 10 ; polarizzatori incrociati; ruotare il polarizzatore di alcuni gradi in senso antiorario; la fibra diretta NE diviene giallo-fieno, più chiara del fondo; quella diretta in NW diviene blu, più scura del fondo. Questo esame presuppone un orientamento dei Nicol secondo le norme DIN (polarizzatore con vettore elettrico in direzione Est-Ovest). Se l'orientamento è Nord-Sud, i colori citati appaiono nei quadranti opposti.

¹⁹ È possibile confondere il crisotilo con i fili di ragnò, i quali però non appaiono mai in fasci paralleli, ma piuttosto in fibre isolate.

²⁰ Per preparati in olio da immersione o Balsamo del Canada, la fibra appare più contrastata quando il suo indice supera 1,6 - 1,65; il crisotilo invece appare quasi invisibile, salvo per i colori d'interferenza.

MATERIALI OCCORRENTI per L'IDENTIFICAZIONE dell'AMIANTO al microscopio polarizzatore con la tecnica semplificata

MICROSCOPIO OTTICO POLARIZZATORE Caratteristiche essenziali:

Polarizzatori estraibili; compensatore "Rosso di 1° ordine" possibilmente girevole. Tavolino girevole con graduazione a 1° almeno. Guida-oggetti (traslatore) con scale graduate, possibilmente con movimento a scatti ("salta-punti"). Un oculare micrometrico, con graduazione, 5 o 10 mm divisi in 100 parti, oltre al normale crocefilo. Obbiettivi Pol 10 : 1 e 40 : 1.

Caratteristiche utili :

Tubo di osservazione bi-oculare, possibilmente inclinato. Tavolino sempre orizzontale. Obbiettivi 4:1 e 20:1 Pol, ottica a campo spianato. Filtri grigi ed "a luce diurna". Accessori per il contrasto di fase.

MICROSCOPIO STEREOSCOPICO

Non essenziale, ma utilissimo per la preparazione dei campioni, lo studio della loro struttura grossolana, il riconoscimento di molti resti organici, ecc.

Ingrandimenti: da 6 a 40 ×.

Utili i dispositivi per la diasopia (illuminazione per trasparenza) e per la luce polarizzata, un oculare micrometrico, ecc.

VETRERIA

Qualche vetro d'orologio e piccoli becker. Carta da filtro.

Un piccolo imbuto.

Vetrini da microscopio: porta-oggetti standard (25 × 75 × 1 mm)

copri-oggetti quadrati (20 × 20 mm o 22 × 22 mm)

copri-oggetti rettangolari (20 × 50 o 24 × 50 mm)

Un disco di vetro Ø 60 mm, spessore 1-2 mm.

Reticoli con quadrettatura a passo 1 mm su vetrini porta-oggetto standard (per l'osservazione di campi contigui coll'obbiettivo 10 × in assenza di salta-punti).

REAGENTI

Ac. cloridrico commerciale. Ammoniaca commerciale. Olio di vaselina o olio da immersione. Per la confezione di "vetrini" permanenti : Balsamo del Canada NATURALE.

UTENSILI

Pinzette a punta fine (tipo da orologiaio); aghi montati su manico (normali aghi da cucito infilati su bacchette di legno) .

BIBLIOGRAFIA

- (1) M. PATRONI – La fibre minerali: caratteristiche e identificazione analitica – Unichim, Milano (1991).
- (2) L.J. MONKMAN – Procedure for the detection and identification of asbestos and other fibres in fibrous inorganic materials – Ann. Occup. Hyg. Vol. 60, pag. 127 – 139 (1979).
- (3) R.L. ZIELHUIS – Public health risks of exposure to asbestos – Pergamon Press (1977).
- (4) AIA (Asbestos International Association) – Metodo di riferimento per la determinazione delle Concentrazioni di fibre di Amianto sospese nell'aria – RTM 1 – London (1982).
- (5) UNICHIM – Ambienti di lavoro – Metodo Unichim 578 – Milano (1982).
- (6) A. MARCONI – L'identificazione delle fibre di asbesto per mezzo della tecnica microscopica della dispersione cromatica – Ann. Ist. Sup. Sanità, Vol. 18, Suppl. (1982).
- (7) J.P. CRONES – IR analysis of toxic dusts – Amer. Lab. (1977).
- (8) B. HAHNE – A contrasting method for the microscopical measurement of refractive index – Jena Review, 4 / 1990, pag. 171.
- (9) B. HAHNE – Microscopic detection of technically important sorts of asbestos – Jena Review, 5 / 1981, pag. 213.
- (10) W.C. McCRONE – Evaluation of asbestos in insulation – ISC Inc. – Microscopy – Environmental Analysis (contributions from “American Laboratory” and “International Laboratory”, series IV, Volume III) (1981).
- (11) W.C. McCRONE e I.M. STEWART – Asbestos – ISC Inc. – Microscopy – Pollution analysis – series II, Volume III (1977).
- (12) W.C. e L.B. McCRONE, J.G. DELLY – Polarized light Microscopy – Ann Arbor Science, Mich. (1978). 251 pagg., 173 figg.
- (13) A. MARCONI, M. MACCIONE e L. ROSSI – Asbesto e talco – Med. Lav. 77: 5; (1986).