



# L'amianto nella storia, tra riti magici, innovazione tecnologica e problematiche ambientali–sanitarie

Asbestos along the history.  
From magic to technological innovation  
and health–environmental issues

ISIDORO GIORGIO LESCI, NORBERTO ROVERI

## Summary

This work describes the discussed history of some fiber– looking silicates which have been used since ancient times in magic and in technological innovations, thanks to their extraordinary chemical–physical properties. After the massive use of asbestos introduced during the industrial revolution, these natural fibers resulted to be health–hazardous to human beings causing very serious illnesses like pleural mesothelioma. The easy use of these minerals in the past took to afford a heavy problem nowadays, both for health and environmental aspects, due to the wide presence of asbestos in domestic and public buildings. The structural and chemical dis–homogeneity of asbestos fibers make the research for the starting causes of pathologies for exposure even harder. The possibility to synthesize a pure stoichiometric chrysotile allowed to understand important aspects in the starting of the illness from the chemical and bio–chemical points of view. Still more important is the possibility to transform asbestos into not toxic materials, then to be used as raw materials, and also avoiding in this way to shift the problem of accumulating asbestos for the future generations.

## Riassunto

Questo lavoro descrive la storia controversa di alcuni silicati di aspetto fibroso, che per le loro straordinarie proprietà chimico fisiche, sono stati utilizzati sin dai tempi antichi per 'riti magici' e innovazioni tecnologiche. Queste fibre naturali, definite amianto o asbesto, a causa anche del massiccio uso che ne è stato fatto dalla rivoluzione industriale in poi, sono risultate essere dannose per salute umana provocando spesso malattie molto gravi, come il mesotelioma pleurico. L'utilizzo disinvolto di questi minerali nel passato porta oggi a gestire una notevole problematica non solo sanitaria ma anche ambientale dovuta alla notevole presenza di amianto soprattutto nelle abitazioni civili e strutture pubbliche. La disomogeneità strutturale e chimica delle fibre di asbesto rendono ancora oggi difficoltoso la ricerca delle cause che scatenano la patologia negli esposti. La possibilità di sintetizzare uno standard puro stechiometrico di crisotilo ha permesso di chiarire importanti aspetti a livello chimico e biochimico sullo scatenarsi della malattia. Ancor più importante è la possibilità di poter trasformare l'amianto in materiali non tossici da poter riutilizzare come materia prima evitando così il posticipare il problema a future generazioni accumulando l'amianto nelle discariche.

### **Amianto o Asbesto.**

Con il termine amianto (che in greco significa immacolato, incorruttibile) ed il suo sinonimo asbesto (che in greco significa inestinguibile, perpetuo) s'indicano circa 30 minerali naturali a struttura fibrosa. Solo sei di questi minerali hanno avuto importanza tecnologica grazie alle loro qualità tecniche tra cui buona resistenza termica, chimica, ottime proprietà fonoassorbenti e termoisolanti; essi si legano facilmente con i materiali da costruzione come gesso, calce, cemento ed anche con alcuni materiali polimerici tra cui gomma e PVC [12]. I sei minerali a cui si fa riferimento sono la Crocidolite, l'Amosite, l'Antofillite, l'Actinolite, la Tremolite ed il Crisotilo. I più importanti dal punto di vista tecnico sono l'amosite, l'antofillite ed il crisotilo; si possono contare più di 3000 prodotti e manufatti industriali a base d'amianto.

L'amianto si trova in natura in vene e fasci di fibre nelle litoclasti o all'interno della roccia madre ed è presente in molte parti del globo terrestre in miniere a cielo aperto. Serpentiniti contenenti asbesto sono largamente diffuse nella parte ovest delle Alpi italiane, in particolare la più grande miniera dell'Europa ovest, si trova presso Balangero, in provincia di Torino [6].

L'impiego dell'amianto per farne manufatti risale a tempi antichi. Infatti, tracce del suo utilizzo si hanno già nel neolitico, impiegato per rinforzare materiali in ceramica. Frammenti e oggetti di questo tipo, risalenti al 2500 a.C., sono stati ritrovati dagli archeologi sia in Finlandia, Russia centrale e Norvegia, oltre che in alcuni siti lapponi in Svezia [13]. Malcolm Ross e Robert P. Nolan hanno trovato conferme archeologiche di reperti d'amianto per potenziare oggetti da cucina fino all'età del ferro, in una vasta area della Finlandia, in Scandinavia e Russia [14].

Il termine amianto compare anche in molte ricette esoteriche e alchimiste già dalla fine III–inizi IV sec. d.C. La parola amianto la si incontra in un testo di Zosimo di Panopoli (fine III–inizi IV sec. d.C.), il più antico alchimista di cui possediamo gli scritti autentici, autore di origine egiziana le cui opere sono state redatte in greco [4]. Gli Egizi riconoscono le peculiari caratteristiche dell'amianto, in particolare lo usano per fabbricare tessuti con cui avvolgere i sovrani nelle pire loro dedicate, in modo da mantenerne le ceneri separate dal resto del materiale bruciato [17]. Questo particolare uso è riportato da Plinio il Vecchio nella sua opera "Naturalis Historia", dove lo definisce sostanza rara e preziosa, impiegata nella confezione dei manti funebri dei Re, in quanto il fuoco lo rendeva bianco e puro e perciò i sudari confezionati con esso evitavano la contaminazione delle ceneri reali. Sempre Plinio il Vecchio ne riporta un altro impiego, che consisteva nel porre intorno al tronco degli alberi da abbattere un panno d'amianto per attutire il rumore degli stessi durante la caduta. Da questi usi come tessuto si evince che, già nei tempi antichi, era nota la sua capacità d'essere filabile, nonché la sua caratteristica d'isolante acustico.

In antichità l'amianto veniva utilizzato come stoppini per alimentare lampade, tra i primi a farne menzione è Pausania che, nella *Periegesi della Grecia*, ricorda una lucerna creata da Callimaco e collocata nel tempio di Minerva, sull'Acropoli di Atene, in cui l'olio per alimentare la fiamma era cambiato solo una volta all'anno, nonostante il fuoco

rimasse acceso giorno e notte. Halleux suggerisce che la descrizione ricorda quelle delle lampade capaci di ricaricare autonomamente il proprio combustibile, presenti negli *Automata* dello 'scienziato' Erone di Alessandria, vissuto tra il I e il II secolo avanti Cristo. [18]

Quindi, dall'antichità fino all'epoca moderna, l'amianto è stato usato più per scopi "magici" e "rituali", anche in aree di grande civiltà e di progresso tecnico, invece che a fini pratici o per produrre particolari manufatti, come ci si potrebbe aspettare viste le sue eccezionali caratteristiche e soprattutto la relativa disponibilità di questo minerale in Natura.

Notizie su questo minerale, inoltre, vengono riportate sporadicamente durante tutto il Medioevo e, mentre alcuni ne riconoscevano la sua genesi minerale, altri, allo stesso tempo, l'attribuivano al regno vegetale od animale. Infatti, una credenza popolare diceva che l'amianto fosse la "lana della salamandra", ritenendo questo animale in grado di sfidare e spegnere il fuoco senza danno.

Marco Polo nel *Il Milione* racconta che nella provincia cinese di Chingitalis, filando questo minerale si otteneva un tessuto impiegato per confezionare tovaglie.

egli riferiva che in quel fango vi era un minerale che aveva una specie di fili come lana. Tali fili vengono seccati al sole e poi pestati in un mortaio di bronzo e successivamente lavati con acqua, così da essere separati dalla terra; la terra poi si getta via e i fili di lana vengono filati e con essi si fanno in seguito delle stoffe [15].

Ai confini tra la magia e medicina stavano anche gli usi terapeutici consigliati da medici e naturalisti fra il medioevo e l'età moderna. Infatti, risale al '600 la ricetta del medico naturalista Boezio che dimostra l'uso dell'amianto nelle medicine dell'epoca:

Dall'asbesto si fa spesso un unguento miracoloso per il 'lattime' e per le ulcerazioni delle gambe. Si prendono quattro once di asbesto, due once di piombo, due once di ruta e vengono bruciate, quindi ridotte in polvere, vengono macerate in un recipiente di vetro con l'aceto ed ogni giorno, per una volta al giorno, per un mese l'impasto viene agitato; dopo un mese si deve far bollire per un'ora e lo si lasci riposare finché non diventi chiaro: poi si mescola una dose di codesto aceto bianco con una ugual dose di olio di rosa finché l'unguento non sia ben amalgamato: allora si unge tutto il capo del fanciullo per farlo rapidamente guarire: per la scabbia e le vene varicose

le parti vengono unte al tramonto finché non sopravvenga la guarigione. Se questo minerale viene sciolto con acqua e zucchero e se ne somministra una piccola dose al mattino tutti i giorni alla donna quando ha perdite bianche, guarisce subito [7].

L'amianto è rimasto presente nei farmaci sino agli anni '60 per due tipi di preparati: una polvere contro la sudorazione dei piedi (contenente in parti uguali un talco boro-silicato ed amianto in polvere) ed una pasta dentaria per le otturazioni e per il mal di denti (contenente ossido di zinco e amianto).

La produzione di amianto, a fini commerciali, è cominciata con il crisotilo nella 2<sup>a</sup> parte del XIX secolo: Italia, Canada e Russia vi hanno dato inizio fra il 1866 ed il 1890, seguite, prima della 2<sup>a</sup> Guerra Mondiale, da Sud Africa ed Australia.

## **L'industrializzazione dell'amianto in Italia**

La prima utilizzazione dell'amianto da parte dell'industria risale agli ultimi decenni dell'800. La rivoluzione industriale portò ad un grande aumento dell'utilizzo dell'amianto nel corso del 18<sup>o</sup> e 19<sup>o</sup> secolo massicciamente utilizzato nelle macchine a vapore, fulcro tecnologico di quella rivoluzione. Un primato alla diffusione dell'amianto spetta anche all'Italia quando nella seconda metà del '800, una gentildonna lombarda, tale Candida Medina Coeli Ferganzi di Gordona Val Chiavenna, si adoperò per valorizzare le cave della Val Malenco (So) di sua proprietà.

L'Italia presentò alcuni campioni del minerale all'Esposizione Universale di Parigi nel 1878. Il mercato mondiale per circa dieci anni fu mantenuto dagli Italiani fino a quando, sul finire del secolo, non vennero scoperti giacimenti più ampi di quelli italiani e ricchi di materiale più pregiato in: Canada, Rhodesia (attuali Zambia e Zimbabwe), Australia e Russia.

Nel 1901, l'austriaco Ludwig Hatschek ottiene il brevetto per l'uso del composto cemento-carta-amianto e battezza la sua invenzione "ETERNIT" dal latino "*aeternitas*" (= eternità).

Nel 1907 nasce lo stabilimento ETERNIT di Casale Monferrato (Al, Piemonte, Italy): 94000 metri quadrati di estensione, di cui 50000

coperti, fondato dall'ingegnere italiano Adolfo Mazza (tra l'altro fu proprio l'ingegnere italiano a costruire nel 1912, la prima macchina per la produzione di tubi a pressione in cemento-amianto). L'ETERNIT di Casale Monferrato rappresentò il più grande stabilimento di manufatti in cemento-amianto d'Europa. Dal 1907 al 1986 le persone impiegate nello stabilimento furono circa 5000; negli anni '50 occupava circa 1000 persone, salite a circa 2000 nel '65 e stabilizzate intorno a 1000 sino agli anni '80; negli anni successivi il numero di addetti diminuì progressivamente fino alla chiusura dello stabilimento di Casale Monferrato avvenuta nel giugno 1986.

In questi ottant'anni, l'ETERNIT divenne popolarissima, nel 1915 vengono messe in commercio le famose fioriere, nel 1933 fanno la loro comparsa le lastre ondulate, in seguito usate spesso per tetti e capannoni; sino alla fine degli anni '70 i tubi in fibrocemento rappresenteranno lo standard nella costruzione di acquedotti.

Venne impiegato in scuole, ospedali, palestre, cinema oltre che in tutti i settori industriali. Nella seconda metà degli anni '50 proprio in seguito ad un incendio di carrozze ferroviarie, allora isolate con sughero, anche in Italia si impose l'esigenza di coibentare tutte le carrozze ferroviarie con amianto, l'uso si diffuse quasi contemporaneamente anche nella coibentazione delle navi.

### **Una tragedia annunciata**

Tutti i silicati che compongono la famiglia dell'amianto, però, a lungo termine rilasciano fibre dell'ordine di grandezza le quali possono essere facilmente inalate, provocando gravissimi danni alla salute e quindi in molti paesi europei ed extraeuropei n'è stato proibito l'uso, come in Italia con riferimento al decreto legislativo n. 277 del 15 Agosto 1991 e alla Legge n. 257 del 27 Marzo 1992.

La scoperta delle patologie legate all'amianto non è delle più recenti, soprattutto per l'asbestosi.

I primi casi di malattie legate all'inalazione di amianto asbestosi sono riportati in Francia ed in Gran Bretagna nel 1906 [11], dove si parlava di fibrosi polmonare associata all'esposizione ad amianto.

Tuttavia, solo dopo la prima indagine epidemiologica sistematica condotta da Doll nel 1955 su tessili inglesi si è iniziato ad ammettere

una correlazione tra l'esposizione a fibre di asbesto e l'insorgenza di tumori polmonari [5]. Nel 1960 Wagner e collaboratori riportarono 47 casi di mesotelioma osservati nel corso dei cinque anni precedenti in una parte del Sud Africa dove esistevano piccole aziende che trattavano amianto.

Cinque anni dopo la comunità scientifica internazionale suggellò definitivamente l'esistenza di effetti cancerogenetici dell'amianto: infatti nel 1965 furono pubblicati gli atti della Conferenza organizzata nel 1964 dalla New York Academy of Sciences sugli effetti biologici dell'asbesto [1]. Nonostante queste evidenze di possibile effetto patologico dell'amianto sulla salute umana, fu utilizzato massicciamente nelle navi, negli edifici e nella quasi totalità delle armi utilizzate in quegli anni. Oggi le malattie correlate all'esposizione di amianto sono tre: l'asbestosi, il cancro del polmone ed il mesotelioma.

I fattori che concorrono a determinare la patogenicità dell'amianto possono essere raggruppati in tre categorie:

- fattori di forma: la forma fibrosa, ove per fibra si intende una forma allungata in cui il rapporto lunghezza diametro è maggiore di 3/1 (definizione WHO; World Health Organisation). Molti studi indicano la frazione di fibre molto lunghe e sottili come le più patogene;
- fattori chimico-mineralogici: la struttura del minerale, la composizione chimica ad esempio la presenza di ioni ferro nella fibra rimovibili da parte di chelanti, o il rilascio di radicali liberi da sospensioni acquose delle fibre), la reattività delle superficie [10, 12];
- biopersistenza: il tempo di persistenza della fibra in vivo, nei tessuti prima di essere disciolta o eliminata.

L'asbestosi è una patologia cronica, tipicamente professionale e consiste in una fibrosi con ispessimento ed indurimento del tessuto polmonare e conseguente diminuzione delle funzionalità polmonari. Il carcinoma polmonare si verifica anche per esposizioni a basse dosi ed il fumo di sigaretta aumenta la probabilità di contrarlo.

Il mesotelioma è un tumore raro della membrana di rivestimento del polmone (pleura) o dell'intestino (peritoneo), fortemente associato all'esposizione a fibre di amianto anche a bassi dosi.

## La particolare struttura degli inosilicati e fillosilicati

I 6 minerali più importanti dell'amianto appartengono a due diversi gruppi mineralogici dei silicati: gli inosilicati e i fillosilicati.

Gli inosilicati sono costituiti da anioni polimerici in cui la catena può essere semplice, i pirosseni, dove l'anione ha formula generale  $(\text{SiO}_3)^{2-}_n$ , oppure doppia, gli anfiboli, con formula generale  $(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{6-}$ . Del gruppo degli anfiboli fanno parte i minerali amosite, crocidolite, antofillite, tremolite, actinolite.

I fillosilicati hanno una struttura caratterizzata da strati tetraedrici dove ogni  $(\text{SiO}_4)^{4-}$  ha in comune con i vicini tre atomi d'ossigeno. A questi appartengono i serpentini, di cui fa parte il crisotilo con le sue due modificazioni polimorfe lizardite ed antigorite.

È importante precisare che la lizardite e l'antigorite sono inseriti nello schema della serie mineralogica dell'asbesto per completare il gruppo dei serpentini ma che non fanno parte della famiglia degli amianti in quanto non hanno le sue stesse caratteristiche fisiche né la sua carcinogenicità.

Tra tutti gli asbesti il più utilizzato è stato il crisotilo che rappresenta circa il 90% della produzione mondiale di amianto. Le sue ottime caratteristiche chimico-fisiche e la sua natura microcristallina di nanotubo destano molto interesse in campo scientifico soprattutto per le sue eventuali applicazioni alle nanotecnologie ed allo studio di quei meccanismi chimico-biologici che ne causano la patogenicità. Il termine crisotilo deriva delle parole greche χρυσος = oro e πτελος = fibra ed in natura si presenta più frequentemente, come già accennato, in aggregati fibrosi, morbido al tatto, opaco e di colore bianco.

La struttura cristallina del crisotilo è cilindrica ed è costituita da strati T-O avvolti concentricamente, con gruppi idrossilici legati al magnesio orientati verso la superficie esterna (conferendogli un comportamento idrofilico). Questo permette di superare il misfit tra lo strato tetraedrico e quello ottaedrico, che è caratteristico di questi silicati.

Di questo minerale si conoscono due politipi, caratterizzati da un diverso impilamento degli strati, il clinocrisotilo e l'ortocrisotilo; una modificazione che viene considerata polimorfa, perché caratterizzata da una diversa orientazione dell'asse della fibra, il paracrisotilo.

Il crisotilo naturale come gli altri serpentini presenta una grande



eterogenicità in quanto da campione a campione si osserva una variazione sia morfologica sia chimica. Inoltre la distribuzione delle dimensioni dei diametri interni ed esterni delle fibre cambia notevolmente. Questo dipende presumibilmente dalle condizioni di crescita del minerale, e quindi dalla località in cui esso si forma. Il ferro è presente in tutti gli amianti naturali; negli anfiboli più comuni crocidolite ed amosite, il ferro è costitutivo dei minerali stessi che presentano le seguenti formule:

- Crocidolite:  $(\text{Na}^+)_2(\text{Fe}^{2+})_3(\text{Fe}^{3+})_2(\text{Si}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
- Amosite:  $(\text{Fe}^{2+}\text{Mg}^{2+})_7(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$

Oppure sostituisce in quantità variabile ioni d'analogia carica e dimensione quali il magnesio nel crisotilo. Numerose prove hanno dimostrato che il ferro è responsabile della patogenicità degli amianti grazie a delle ricerche fatte con la desferrioxamina (molecola capace di chelare fortemente gli ioni ferro) dove si è dimostrato che è in grado di inibire in vitro la patogenicità degli amianti. Questo suggerisce che il ferro contenuto nella fibra catalizzi la produzione di ROS (Reactive Oxygen Species) quali il radicale ossidrile e lo ione superossido.

### Perché sintetizzare l'amianto?

Fin dalla metà dello scorso secolo furono tentate sintesi di serpentini con lo scopo di studiare l'origine di questi minerali e di comprendere i fattori con cui si ordinano gli strati T-O e l'effetto sulla struttura degli ioni estranei.

Presso il Dipartimento di Chimica "G. Ciamician" di Bologna si è messo a punto una metodologia di sintesi idrotermica, altamente riproducibile che permette di ottenere nanocristalli di crisotilo sintetici come unica fase, avente morfologia e stechiometria definita [8].

Lo scopo principale di ottenere nanocristalli di crisotilo puri è quello di utilizzarli come standard di riferimento per condurre studi sulla sua citotossicità e carcinogenicità evitando le problematiche dovute all'eterogeneità del crisotilo minerale. Inoltre questi nanocristalli di crisotilo sintetico sono stati con successo utilizzati per studiare l'interazione con cellule, mitocondri e proteine del siero [2,3]. Sono state

anche studiate le modificazioni morfologiche, strutturali e chimico-fisiche nel crisotilo sintetico dopo incorporazione di Fe, Ni e Ti. È stato sintetizzato crisotilo drogato con Fe tra 0.29 e 1.37% in peso che ha mostrato, mediante uno studio spettroscopico FTIR, una parziale sostituzione del ferro al Si e al Mg. La sostituzione del Fe nella struttura cristallina del crisotilo produce un appiattimento della curvatura degli strati di brucite osservati per il crisotilo stechiometrico e ne modifica le proprietà meccaniche. Recentemente è stato messo in evidenza come la presenza di minime concentrazioni di Fe nella struttura del crisotilo sintetico siano sufficienti per conferirgli evidenti caratteristiche tossiche [16,9]. Appare quindi importante potere realizzare uno studio interdisciplinare in cui l'indagine biochimica è messa in relazione con le caratteristiche chimico-fisiche, superficiali, strutturali e morfologiche di asbesti sintetici e fasi serpentiniche non fibrose opportunamente drogate con ioni metallici.

### **Dal terrore del passato a risorsa per il futuro?**

L'amianto maggiormente diffuso nell'ambito dell'edilizia è stato il crisotilo, seguito in minor concentrazione dalla crocidolite e amosite. Nel caso specifico del cemento amianto la concentrazione dell'amianto si aggira nell'intervallo del 10-15%. È opportuno ricordare che le discariche non risolvono il problema nel tempo, ma lo tramandano alle generazioni future: è pertanto importante studiare una strategia che permetta di inertizzare i RCA (Rifiuti Contenente Amianto) e sfruttarli successivamente come raw materials nella produzione di materiali secondari. Esistono vari processi idonei all'innocuizzazione di RCA, che hanno lo scopo di ridurre od eliminarne completamente la pericolosità. Questi comprendono processi di condizionamento i matrici di diversa natura o processi che intervengono direttamente sulla struttura fibrosa del minerale stesso. I primi riducono la pericolosità delle fibre di amianto mediante un'azione di "contenimento" all'interno di una determinata matrice, mentre i secondi provvedono ad una "trasformazione" del prodotto mediante una modifica della struttura fibrosa. I principali processi di trasformazione di RCA si basano su trattamenti chimici per azione di acidi forti e su trattamenti termici o meccano chimici. Una delle problematiche maggiormente

rilevate nel riciclaggio dell'amianto è il riutilizzo delle materie prime derivanti dai processi di trasformazione chimica indicate dalla tabella b del Dlgs 248/2004. Difatti tutti i processi attualmente noti per la trasformazione chimica dell'amianto (vetrificazione, litizzazione, vetroceramizzazione, modificazione mecano chimica, produzione di clincker) richiedono costi elevati dal punto di vista economico-energetico; pertanto la maggior parte degli RCA e dei MCA (Materiali Conteneute Amianto) vengono interrati in apposite discariche. In letteratura è noto lo studio della trasformazione del crisotilo ad opera di microrganismi, in particolar modo di *Lactobacillus casei* e *plantarum*, i quali, grazie ad un metabolismo eterofermentativo, producono acidi, in particolar modo acido acetico e acido lattico. Questi acidi hanno la capacità di interagire con lo strato brucitico delle fibre di crisotilo strappando a tale substrato ioni magnesio. La sottrazione degli ioni magnesio inducono una perdita della natura fibrosa dell'asbesto e quindi alla sua interazione tossica con la superficie alveolare.

Presso il Dipartimento di Chimica "G. Ciamician" dell'Alma Mater Studiorum, è stato ideato e messo a punto un processo di trasformazione di manufatti in cemento-amianto.

Il processo per decomporre le fibre di amianto (principalmente crisotilo) contenute all'interno dei manufatti di cemento-amianto, è stato brevettato da Chemical Center S.r.l. (brevetto europeo: EP11175285.3), il quale opera nel settore delle analisi ed in particolare nell'ecoinnovazione.

Il processo prevede di utilizzare quantità di siero esausto, avente un pH acido per decomporre a temperatura ambiente la fase cementizia (85%) e liberare le fibre di amianto (15%) in essa inglobate, fibre che verranno poi denaturate e decomposte in ioni magnesio e silicato utilizzando altre quantità di siero di latte esausto in un processo idrotermico chiuso a 160/180 °C e circa 7 bar di pressione, in completa sicurezza, escludendo l'immissione di fibre di amianto in aria effettuando tutto il processo di trasformazione del materiale contenente amianto in completa immersione nei rifiuti liquidi acidi delle industrie agroalimentari. Il processo suddiviso nelle due fasi: 1) decomposizione del Carbonato di calcio con liberazione in acqua delle fibre di amianto e 2) decomposizione delle fibre di amianto. In entrambe le fasi non si ha mai dispersione di fibre di amianto in aria perché tutte le due fasi del processo avvengono sempre in siero di latte esausto. Il processo

denatura due inquinanti: amianto e siero esausto e recupera metalli Mg, Ca, Ni, Mn, produce carbonato di calcio nanostrutturato per l' edilizia, idropittura, concime e fertilizzanti per l' agricoltura e a fine processo non produce rifiuti liquidi o solidi.

## Bibliografia

- [1] *Annals of New York Academy of Sciences*, Wiley (ed.), 1965. Biological Effects of Asbestos Vol. 132, Pages 5–705
- [2] ARTALI R., DEL PRA A., FORESTI E., LESC I. G., ROVERI N., SABATINO P., 2008. *Adsorption of human serum albumin on the chrysotile surface: a molecular dynamics and spectroscopic investigation*, Journal Of The Royal Society Interface., 5, 273–283.
- [3] BERGAMINI C., FATO R., BIAGINI G., PUGNALONI A., GIANTOMASSI F., FORESTI E., LESC I., ROVERI N., LENAZ G., 2006. *Mitochondrial changes induced by natural and synthetic asbestos fibers: studies on isolated mitochondria*, Cellular And Molecular Biology. biology (Noisy-le-Grand, France), 52 Suppl, 905–913.
- [4] BERTHELOT M., 1885. *Les origines de l'alchimie*, Parigi, George Steinheil Editore.
- [5] CARNEVALE F.E CHELLINI E., Tosca (ed.), 1992. *Amianto. Miracoli, virtù, vizi*, Firenze.
- [6] COMPAGNONI R., SANDRONE R., ZUCCHETTI S., 1980. *Some remarks on the asbestos occurrences in the Western Alps with special reference to the Chrysotile Asbestos deposit of Balangero (Lanzo Valley, Piedmont, Italy)*, 4<sup>th</sup> Inter. Conf. On Asbestos, Preprints, 1, 49–71.
- [7] DE BOODT A., DE LAET J., TEOFRASTO, 1647. *Gemmarum et lapidum historia*, ex officina Ioannis Maire.
- [8] FALINI G., FORESTI E., GAZZANO M., GUALTIERI A., ROVERI N., LESC I. G., 2004. *Tubular Shaped Stoichiometric Chrysotile Nanocrystals*, Chemistry, A European Journal, 10(12), 3043–3049.
- [9] FORESTI E., FORNERO E., LESC I. G., RINAUDO C., ZUCCHERI T., ROVERI N., 2009. *Asbestos health hazard: A spectroscopic study of synthetic geoinspired Fe-doped chrysotile* Journal Of Hazardous Materials, 167, 1070–1079.
- [10] GAZZANO E., TURCI F., FORESTI E., PUTZU M. G., ALDIERI E., SILVAGNO F., LESC I. G., TOMATIS M., RIGANTI C., ROMANO C., FUBINI B., ROVERI

- N., GHIGO D., 2007, *Iron-Loaded Synthetic Chrysotile: A New Model Solid for Studying the Role of Iron in Asbestos Toxicity*, Chem. Res. Toxicol, 20, 380–387.
- [11] HUME L.A., RIMSTIDT J.D., 1992, *The biodurability of Chrysotile Asbestos*, Am. Mineral, 77, 1125–1128.
- [12] HARDY J. A., AUST A. E., 1995. *Iron in Asbestos Chemistry and Carcinogenicity*, Chem. Rev. 95, 97–118.
- [13] MAINES RACHEL, 2005, *Asbestos And Fire: Technological Trade-offs And The Body At Risk*, New Brunswick, Rutgers University Press.
- [14] NOLAN R. P., ROSS M., 2003. *History of asbestos discovery and use and asbestos-related disease in context with the occurrence of asbestos within ophiolite complexes*, Geological Society of America, Special paper 373, 448–471.
- [15] POLO M, COLUMBUS C., Paoline (ed.) 1985. *Il Milione*, Roma, 104–105.
- [16] TURCI F., TOMATIS M., LESCI I.G., ROVERI N., FUBINI B., 2011. *The iron-related molecular toxicity mechanism of synthetic asbestos nanofibres: A model study for high-aspect-ratio nanoparticles*, Chemistry, A European Journal, 17, 350–358.
- [17] WAGNER C., 1974. *Disputes on the safety of Asbestos*, New Scientist, 61, 888, 606.
- [18] ZILIOLI C., 2014. *Breve storia dell'amianto dall'antichità al '700*, CnS. La chimica nella scuola (in corso di stampa).

Isidoro Giorgio Lesci, Norberto Roveri  
Dipartimento di Chimica "G. Ciamician"  
Università di Bologna  
isidorogiorgio.lesci@unibo.it