

Giornata GNM – Bologna, 9 maggio 2003

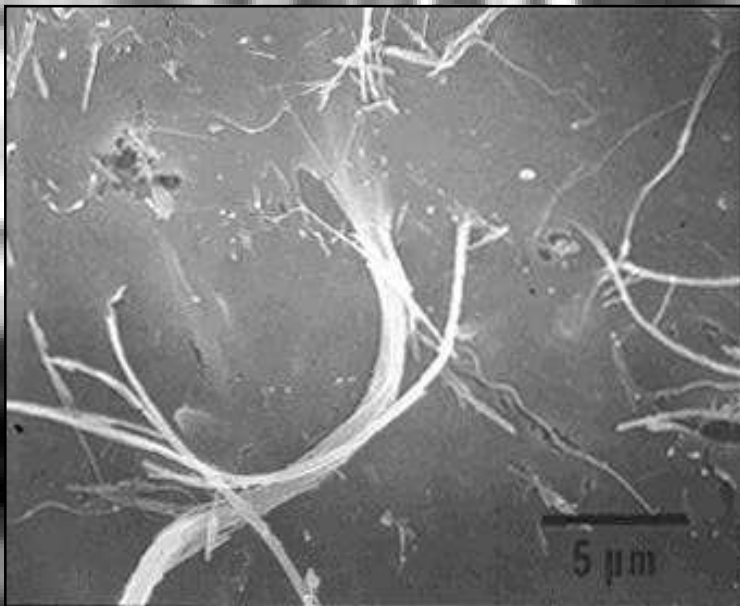
*“Ingegneria mineralogica: dal laboratorio della
Natura ai materiali innovativi”*

**Comprendere e modificare le proprietà
strutturali e microstrutturali dell'**amianto** per
un rilancio in nuove applicazioni industriali
sicure per l'ambiente di vita e di lavoro**

A.F. Gualtieri

*Dipartimento di Scienze della Terra,
Università di Modena e R.E.*

Il problema amianto: introduzione



Scanning electron micrograph showing several chrysotile asbestos fibers phagocytized by cultured rat pleural mesothelial cells.

La normativa italiana fa ricadere sotto la definizione commerciale di “amianto” i minerali:

Crisotilo (90% produzione mondiale)

Tremolite

Actinolite

Antofillite

Amosite

Crocidolite

L'amianto è stato largamente utilizzato fin dall'inizio del secolo scorso per innumerevoli applicazioni industriali grazie alle sue indiscutibili proprietà tecnologiche. Oggi è provato che **l'amianto è cancerogeno**. In Italia l'estrazione, l'importazione, l'esportazione, la commercializzazione e la produzione di amianto, prodotti di amianto o contenenti amianto è vietata dalla **Legge n. 257 del 1992**

I numeri del problema amianto

In Europa sono previsti 250.000 morti nei prossimi 25 anni a causa dell'esposizione alle fibre di amianto ⇒

“la neoplasia del terzo millennio”.

Purtroppo in alcuni Paesi (Brasile, Canada, India, Romania, ...) si continua ad estrarre, lavorare e commercializzare amianto.

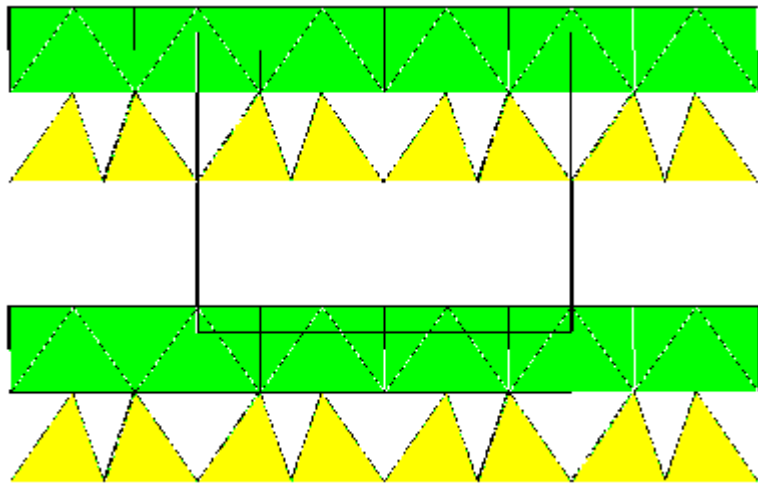
L'ITALIA: l'amianto è attualmente presente in enormi quantità: sono stimati 2.5 miliardi di m² di coperture in cemento-amianto (*eternit*), senza considerare l'amianto in matrice friabile. In Italia, solo per il mesotelioma pleurico, la patologia associata all'esposizione all'amianto, tra il 1988 e il 1994 i casi hanno superato le 6000 unità. In Italia saranno almeno 30.000 i morti nei prossimi 20 anni a causa dell'esposizione alle fibre di amianto.

Asbestos – Quebec (Canada)



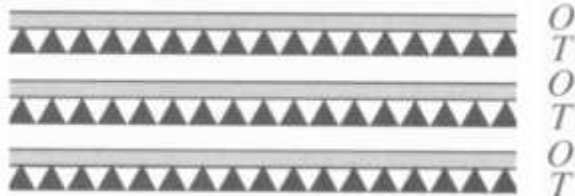
“Dobbiamo giungere al rischio zero perché l'unica fibra d'amianto innocua è quella che noi non respiriamo” (Prof. Luciano Mutti, Primario AUSL 11 Vercelli)

La struttura del crisotilo $Mg_3(OH)_4Si_2O_5$

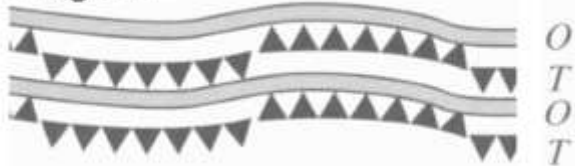


Esiste un misfit dimensionale (stress) fra lo strato ottaedrico brucitico ($a_{id}=5.4 \text{ \AA}$ e $b_{id}=9.4 \text{ \AA}$ e quello tetraedrico ($a_{id}=5.0 \text{ \AA}$ e $b_{id}=8.7 \text{ \AA}$) “parzialmente” compensato dall’incurvamento degli strati

lizardite



antigorite



crisotilo

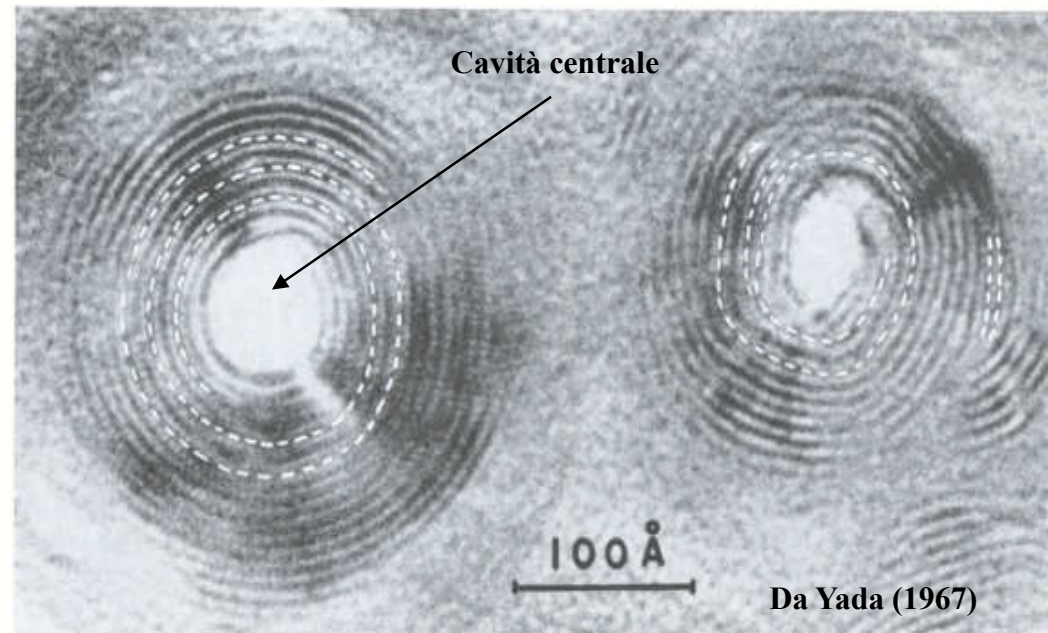
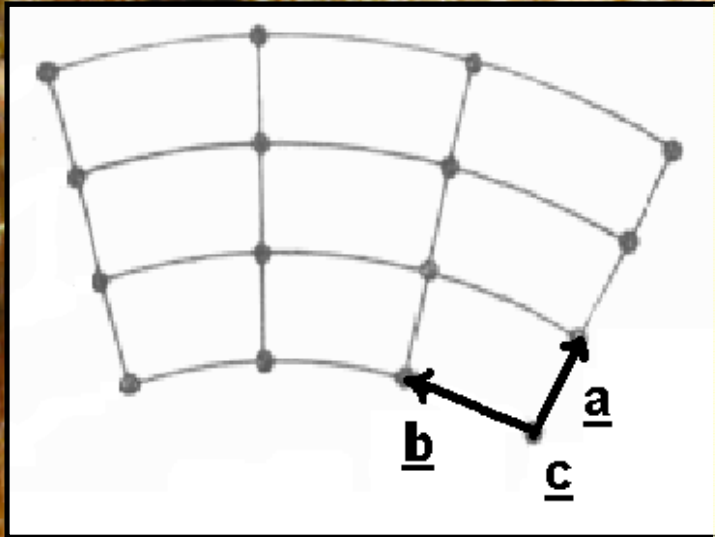


Fig.9. Electron micrograph showing double spiral structures of the circumferential lattice planes.

La struttura cilindrica del crisotilo



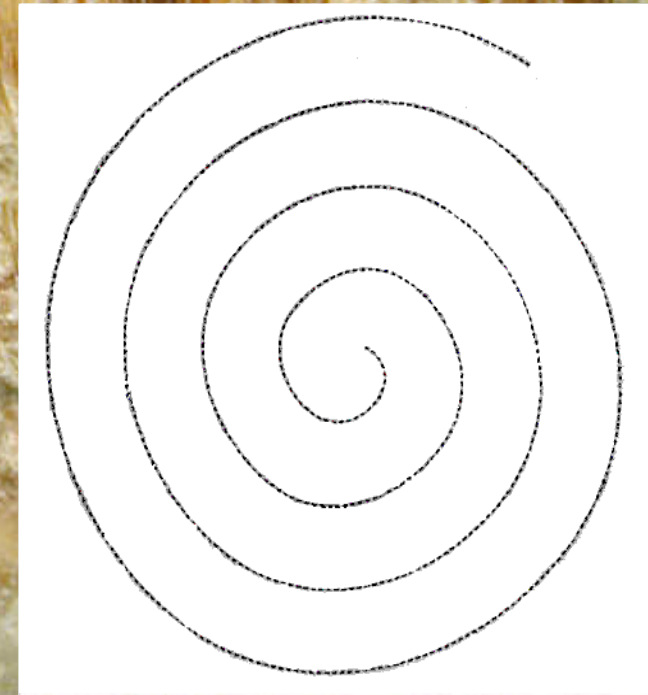
Il crisotilo ha un reticolo **CILINDRICO** (Whittaker, 1955):

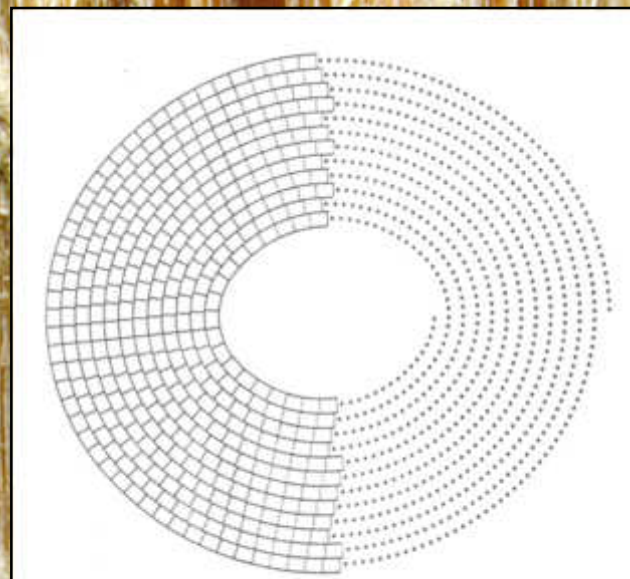
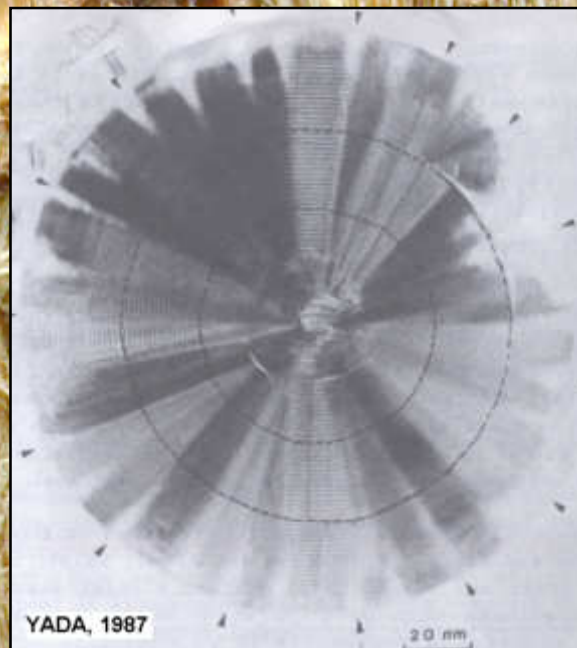
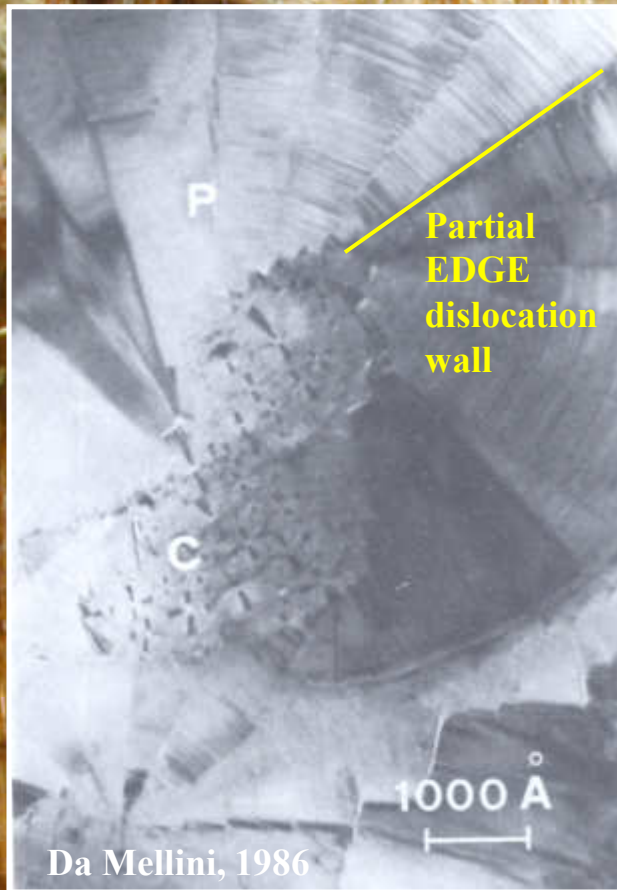
- Se $\beta \neq 90^\circ$ (**monoclino ex $2Mc1$**), la cella successiva è spostata di $\underline{a}' \cdot \cot\beta$ ($\underline{a} = \underline{a}' \operatorname{cosec}\beta$)
- Se $\beta = 90^\circ$ (**ortorombico**), $\Delta \underline{a} = 0$

Nei reticoli convenzionali sono definiti:
Clino-, orto-, e para-crisotilo

Vale la (Jagodzinski e Kunze 1954): $2\pi t \approx 5b$

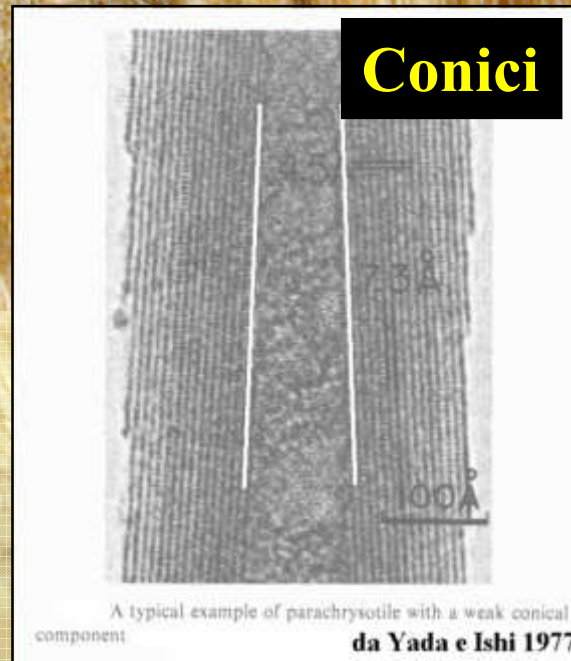
simmetria	tipo	angoli	Orientazione di b rispetto alla sezione ortogonale	CIRCOLARE	SPIRALE
Anortico (triclino s.l.)	1°	$\alpha \neq \beta \neq 90^\circ$	Parallela	Regolare	-
	2°	$\alpha \neq \beta \neq 90^\circ$	Inclinata	Elica	Elica
Monoclino	1°	$\beta \neq \alpha = 90^\circ$	Parallela	Regolare	-
	2°	$\alpha \neq \beta = 90^\circ$	Parallela	Regolare	Regolare
	3°	$\beta \neq \alpha = 90^\circ$	Inclinata	Elica	Elica
	4°	$\alpha \neq \beta = 90^\circ$	Inclinata	Elica	-
Ortorombico	1°	$\alpha = \beta = 90^\circ$	Parallela	Regolare	Regolare
	2°	$\alpha = \beta = 90^\circ$	Inclinata	Elica	-





da Devouard e Baronnet, 1995

Conici



A typical example of paracrystalline with a weak conical component
da Yada e Ishi 1977

Deformati



da Yada, 1967

Teorie per i reticoli cilindrici e poligonali:

- Whittaker ('50)
- Jagodzinski e Kunze ('50)
- Toman e Frueh (1968)
- Baronnet et al. (1994); Devouard e Baronnet (1996)

Proprietà dell'amianto

Proprietà	Valori	Cause
Resistenza al fuoco ed incombustibilità	Punto di deterioramento: 450-700 °C	Solo rilascio di molecole d'acqua durante il processo di deossidrilazione: $\text{Mg}_3(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5 \Rightarrow \text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_7 + 2\text{H}_2\text{O}$
Refrattarietà	Punto di fusione del residuo: 1500 °C	Trasformazioni ad alta temperatura in olivina ed enstatite: $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \Rightarrow \text{MgSiO}_3 + \text{Mg}_2\text{SiO}_4$
Resistenza all'attacco alcalino	Stabilità chimica nel range di pH 7-14	La reazione di dissoluzione del crisotilo per pH <7-8: $\text{Mg}_3(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5 + 6\text{H}^+ \Rightarrow 3\text{Mg}^{2+} + 2\text{H}_4\text{SiO}_4 + \text{H}_2\text{O}$. Fortunatamente per l'uomo il pH dei macrofagi alveolari è 4!
Fonoassorbenza (isolamento acustico)	Coefficiente di trasmissione del suono (STC): fino a 70-90 Nb. Gesso = 36	Caratteristico dei materiali a bassa densità.
Resistenza all'abrasione	Durezza MOHS: 2.5-4	Praticamente impossibile misurare la resistenza all'abrasione (ISO 10545.4) data l'elasticità e la morfologia asbestiforme

Proprietà dell'amianto

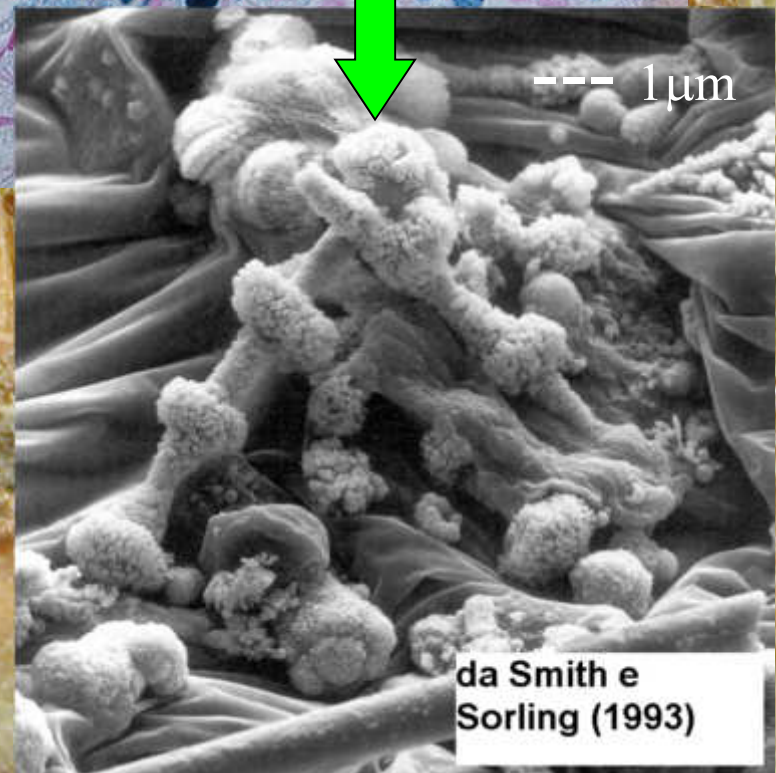
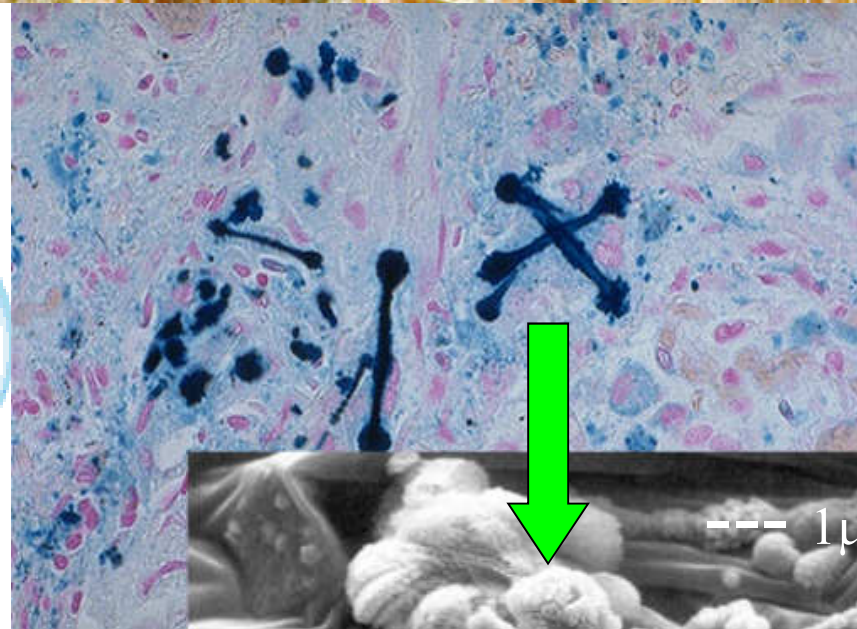
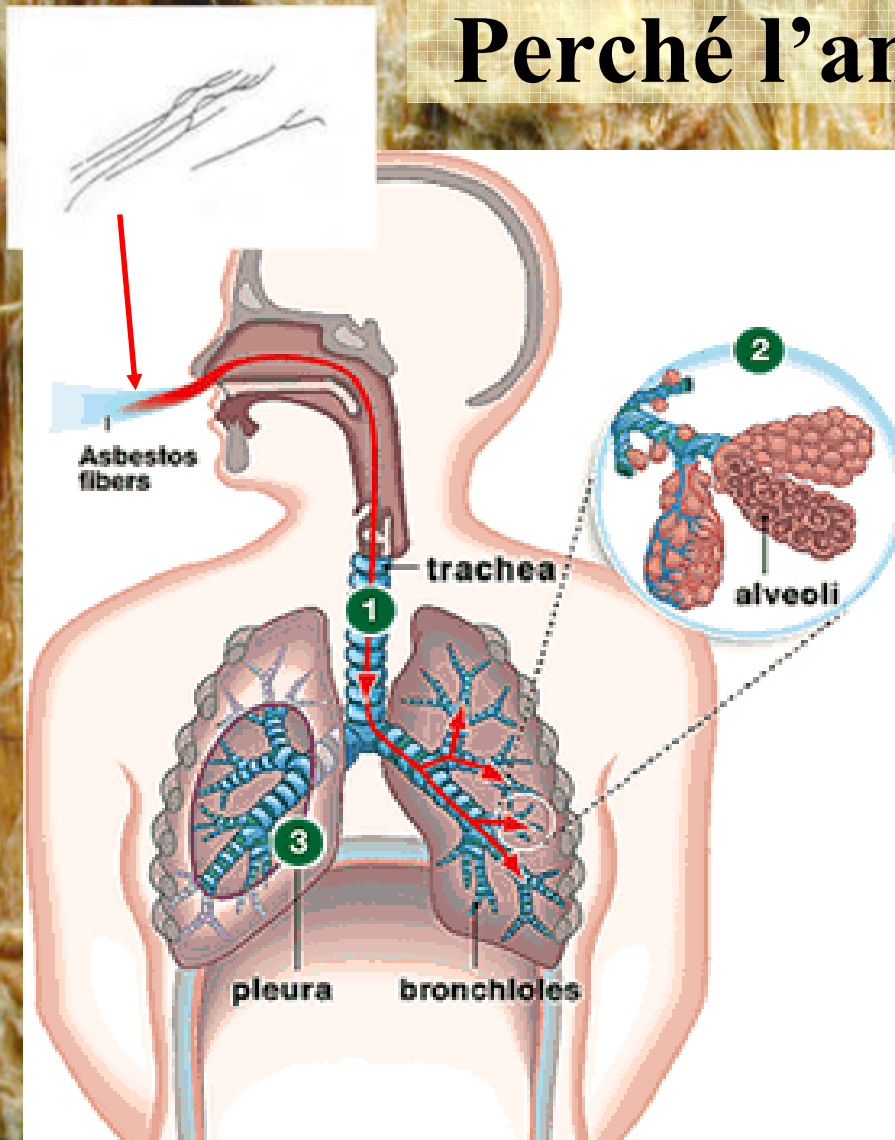
Proprietà	Valori	Cause
Bassa densità	$d = 2.55 \text{ g/cm}^3$	E' un fillosilicato di Mg e Si con interstrato vuoto (?) e cavità centrale attorno alla fibrilla
Basso coefficiente di trasmissione termica	Conducibilità termica: $<0.1 \text{ Kcal/m}^2$	Caratteristico dei materiali a bassa densità e favorito dal chimismo del crisotilo.
Lavorabilità (filabilità)	Eccellente con possibilità di ottenere fibre industriali con $\phi \approx 0.1-1 \mu\text{m}$	Dovuta all'abito ASBESTIFORME (aggregati di fibrille a formare fibre flessuose)
Alto modulo elastico e res. alla trazione RT:	$R_T = 490-1961 \text{ MPa}$	Possibilità di "stirare" la fibra lungo il suo asse maggiore per rottura ponti idrogeno e scivolamento degli strati TO.
Grande superficie specifica	Misura superficie specifica con BET (N_2): $20-40 \text{ m}^2/\text{g}$	Trattandosi di fibre monodimensionali di dimensioni molto piccole (generalmente con diametro inferiore ad $1 \mu\text{m}$ e lunghezza $2-10 \mu\text{m}$), la superficie specifica è molto alta

A queste va aggiunto il fatto che è una materia prima naturale di basso costo!

Le eccezionali proprietà legate alla struttura ed alla microstruttura (in particolar modo le dimensioni delle fibrille, l'abito asbestiforme e l'attività superficiale) sono la causa principale della **tossicità** a seguito di inalazione dell'asbesto

Secondo Stanton et al. 1981, le fibre con $\phi < 0.25 \mu\text{m}$ e $l > 4 \mu\text{m}$ sono quelle più pericolose perché hanno maggiore probabilità di essere inalate (Hp di Stanton)

Perché l'amianto è cancerogeno?

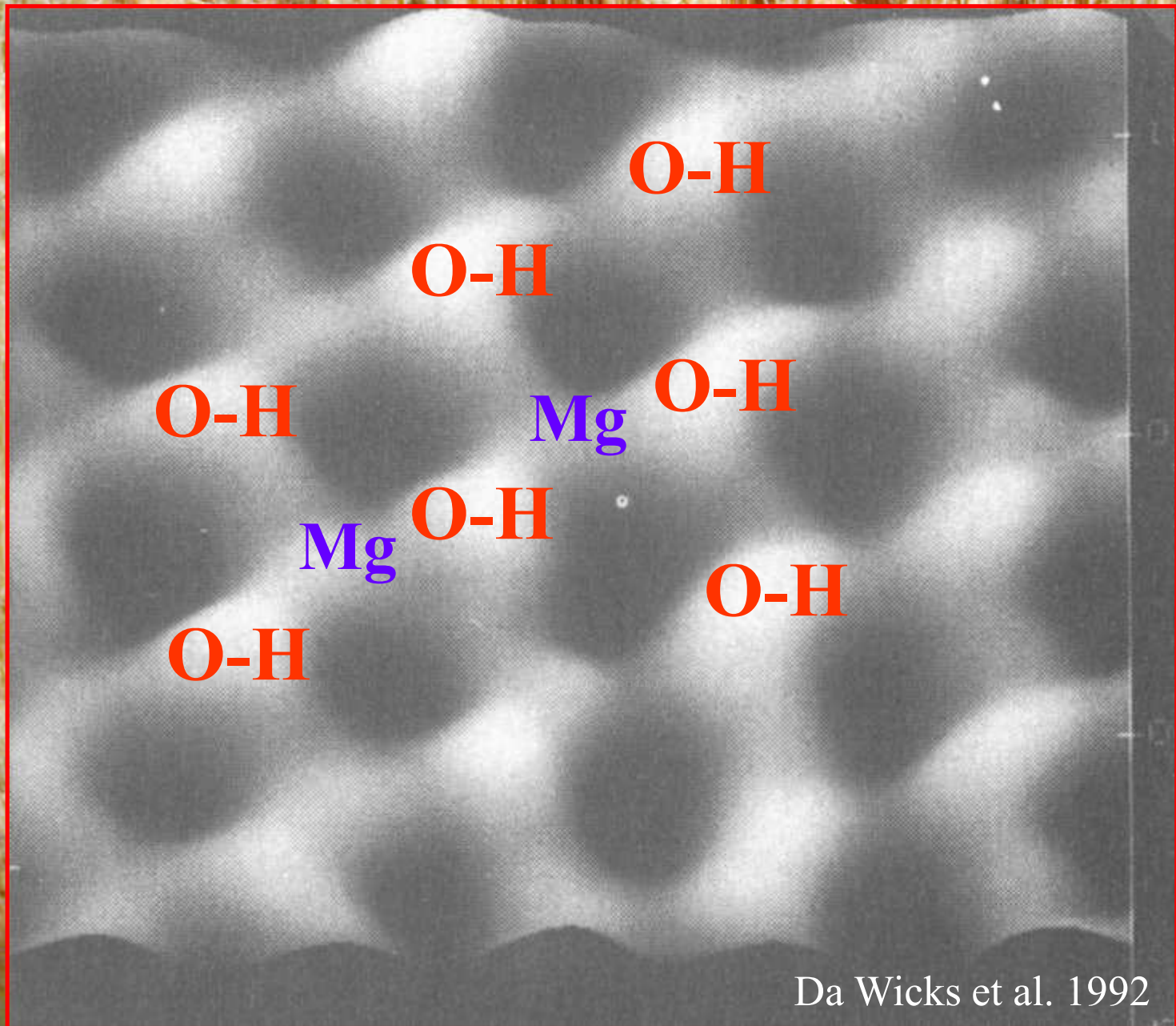


Autopsia di polmone umano: fibre di asbesto coperte da concrezioni ferruginose di ferritina ed emosiderina

da Smith e Sorling (1993)

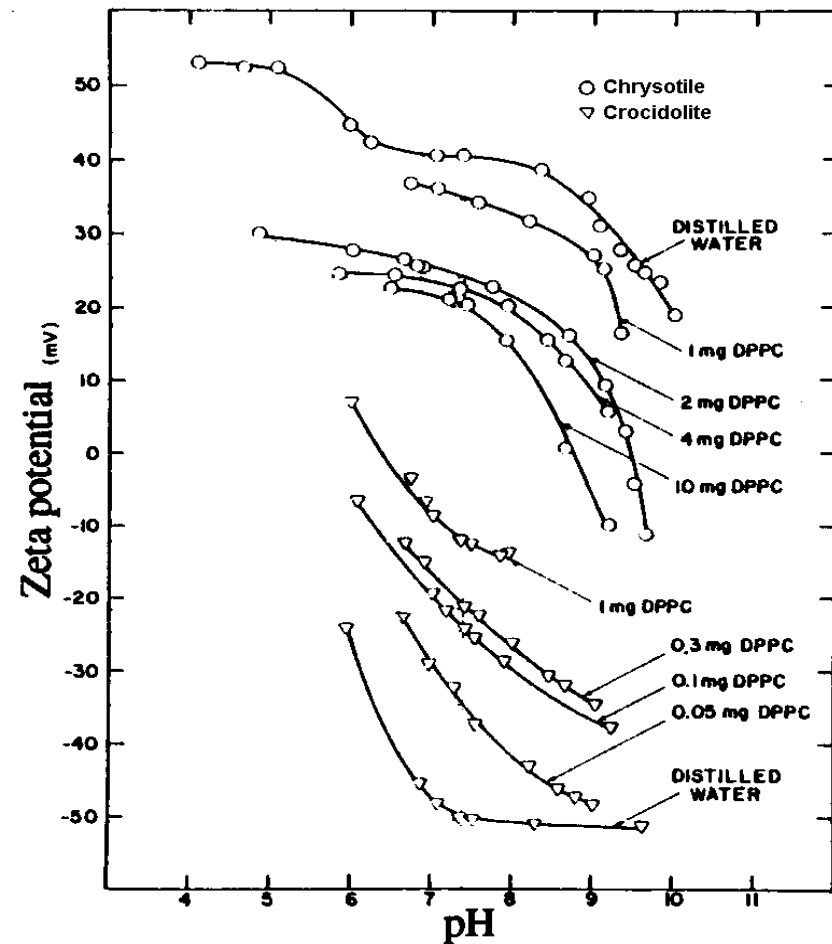
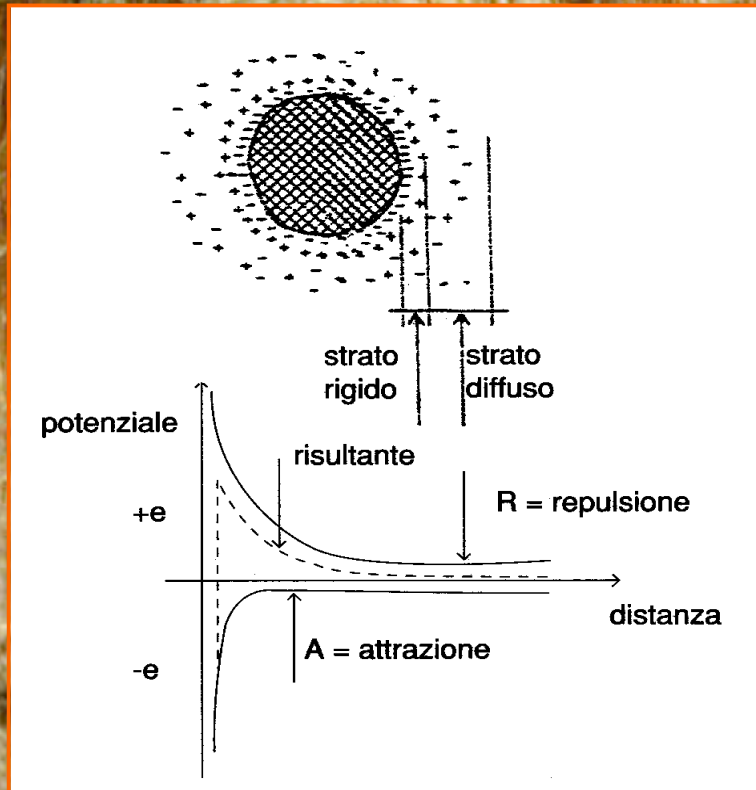
Proprietà di superficie del crisotilo

Bonneau et al.
(1986): *“the active basic site on the chrysotile surface is the hydroxyl on the outside of the octahedral sheet”*



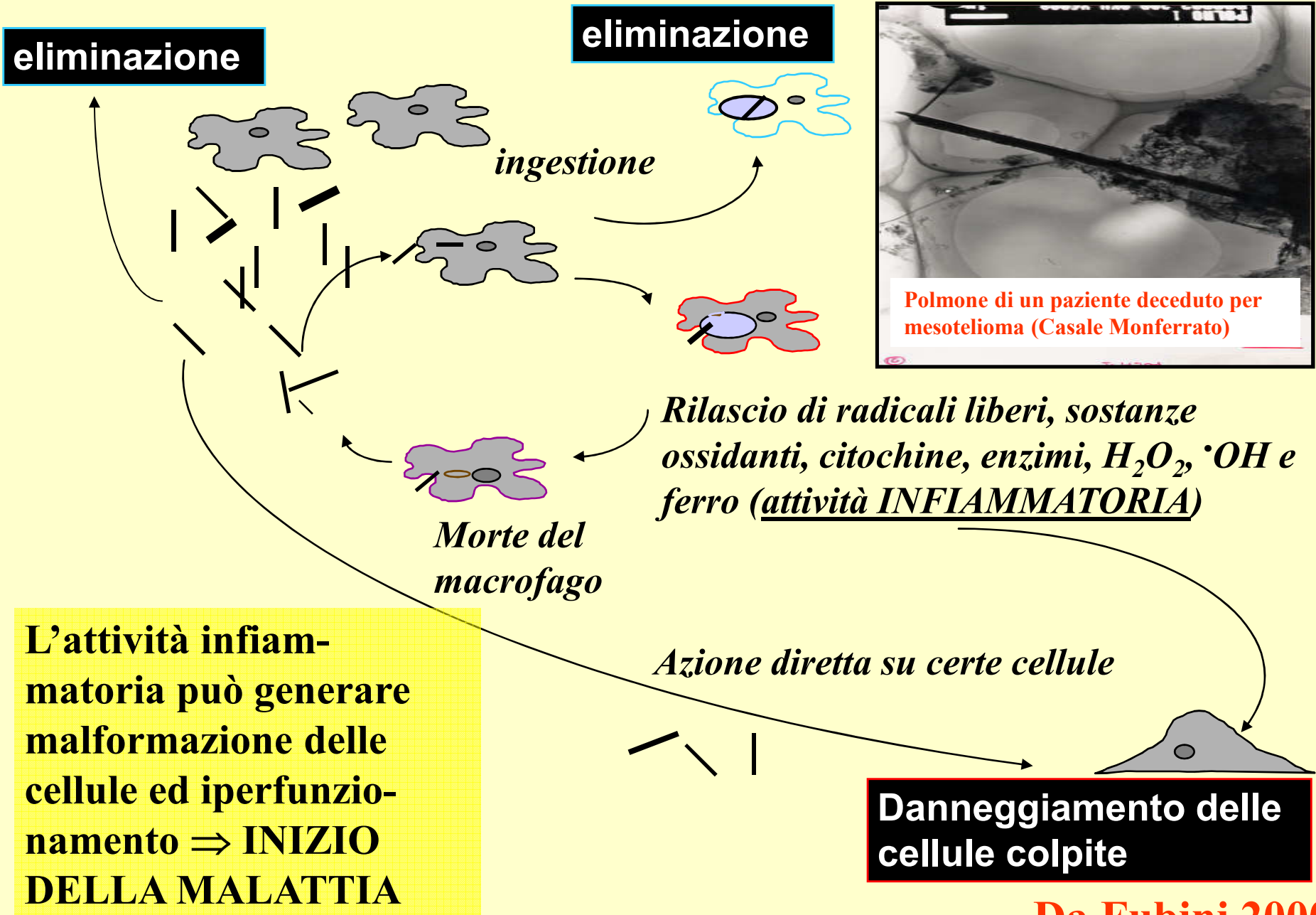
Proprietà di superficie del crisotilo

Il potenziale $Z=qL/(\epsilon_D \cdot 2.718)$
misurato di superficie è +



Le caratteristiche e l'attività superficiale possono essere modificate da: adsorbimento o chemi-adsorbimento di molecole organiche (quali la CMC) e/o macinazione

Asbesto inalato: meccanismo di azione



Da Fubini 2000

Necessità di reperire o “creare”
materiali sostitutivi dell’asbesto con le
stesse proprietà tecnologiche ma con
patogenicità zero!

Nei paesi che ancora utilizzano
l’amianto il problema non sussiste e
sono condotte ricerche per nuove
applicazioni dell’amianto

Applicazioni innovative dell'amianto

- Deposizione di particelle colloidali semiconduttrici sulle fibre di asbesto per la fotocatalisi (Vautier-Giongo e Jokes, 1997)
- Adsorbimento di gruppi amminici sulle fibre di asbesto per il sequestro di metalli pesanti (Fonseca et al., 2001)
- Sequestro di composti organici dei detersivi da soluzioni acquose (Fachini e Joeques, 2002)
- Immobilizzazione di funghi sulle fibre di asbesto per processi di biocatalisi (Porto et al., 2002)
- Immobilizzazione di microrganismi (*lievito*) sulle fibre di asbesto per processi di bioriduzione (Wendhausen et al., 2002)
- Deposizione di nitrato di acetile sulle fibre di asbesto per processi di sintesi organica di chinoni, chetoni e aldeidi (de Oliveira Filho et al., 1996)
- Conversione di propanolo su fibre di asbesto (Suzuki e Ono, 1984)

Deposizione di particelle colloidali semiconduttrici sulle fibre di asbesto per la fotocatalisi (Vautier-Giongo e Jokes, 1997)

L'alta densità di siti basici e il valore + di potenziale Z rendono le fibre di crisotilo un supporto ideale per particelle fotocatalizzatrici

Applicazione: crisotilo brasiliano ($14 \text{ m}^2/\text{g}$) che supporta anatasio per la foto-decomposizione di gruppi fenilici (*...the systems were exposed to sunlight on a sunny day in Campinas...*)

La deposizione di anatasio sulle fibre avviene per “*etero-coagulazione*” a pH neutro e la foto-decomposizione avviene con una buona resa.

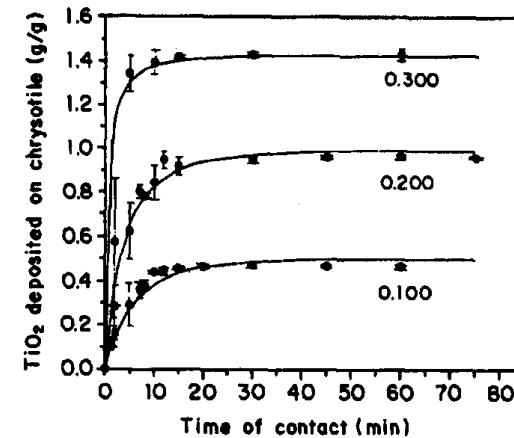
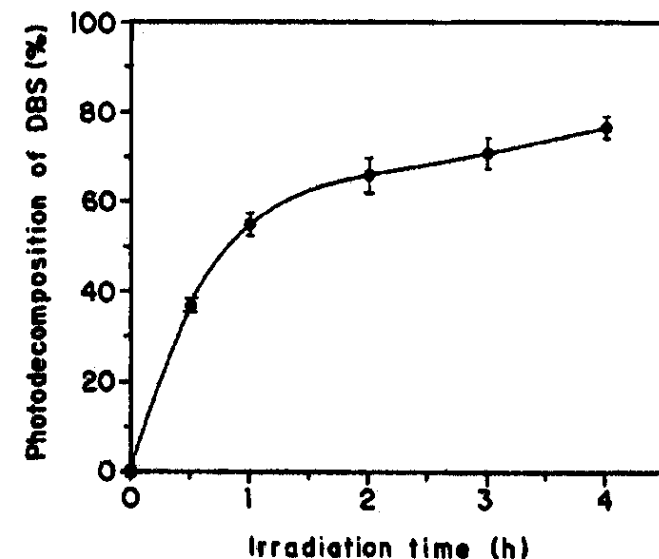


Fig. 1. Deposition kinetics on 0.200 g of chrysotile fibers for three different initial concentrations of TiO_2 aqueous dispersions (0.100, 0.200 and 0.300 g in 100 ml of water). Unbuffered medium (pH 6.5–7), 30°C , without electrolyte

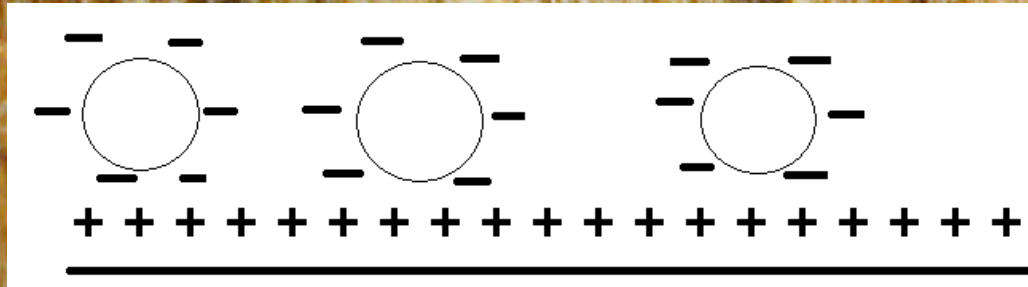


Deposizione di particelle colloidali semiconduttrici sulle fibre di asbesto per la fotocatalisi (Vautier-Giongo e Jokes, 1997)

La quantità di anatasio che si deposita sulle fibre aumenta con aggiunta di NaCl

In H₂O distillata, senza NaCl:

$$Z_{\text{TiO}_2} = -30 \text{ mV} \text{ e } Z_{\text{crys}} = +45 \text{ mV}$$



Con NaCl:

$$Z_{\text{TiO}_2} = -25 \text{ mV} \text{ e } Z_{\text{crys}} = +40 \text{ mV}$$

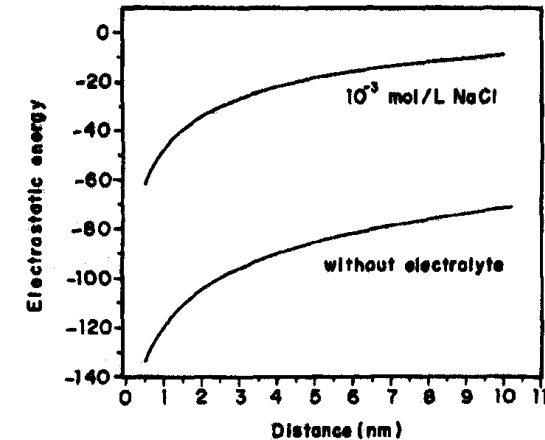
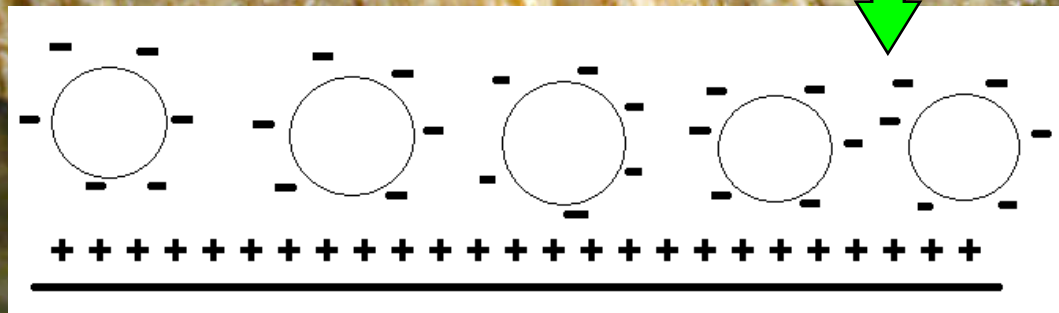


Fig. 6. Electrostatic interaction energy between TiO₂ and chrysotile in the absence ($\psi(\text{chrys.}) = +45 \text{ mV}$, $\psi(\text{TiO}_2) = -30 \text{ mV}$, $\kappa = 3.3 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$) and in the presence ($\psi(\text{chrys.}) = +40 \text{ mV}$, $\psi(\text{TiO}_2) = -25 \text{ mV}$, $\kappa = 1.0 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$) of $10^{-3} \text{ mol/l NaCl}$ as a function of surface separation.

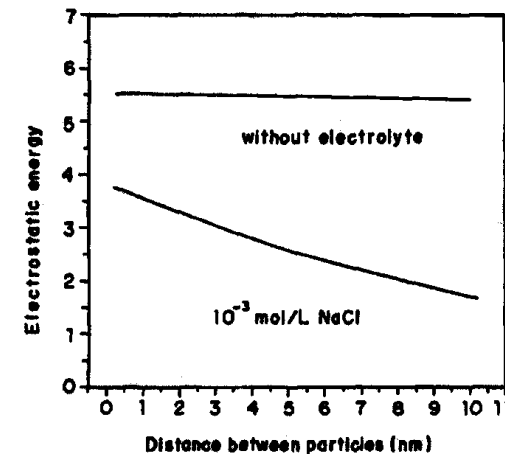
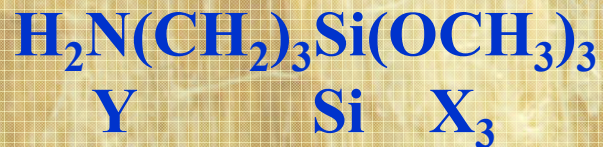


Fig. 7. Electrostatic interaction energy between TiO₂ deposited particles in the absence ($\psi(\text{TiO}_2) = -30 \text{ mV}$, $\kappa = 3.3 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$) and in the presence ($\psi(\text{TiO}_2) = -25 \text{ mV}$, $\kappa = 1.0 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$) of $10^{-3} \text{ mol/l NaCl}$ as a function of surface separation.

Adsorbimento di gruppi amminici sulle fibre di asbesto per il sequestro di metalli pesanti (Fonseca et al., 2001)

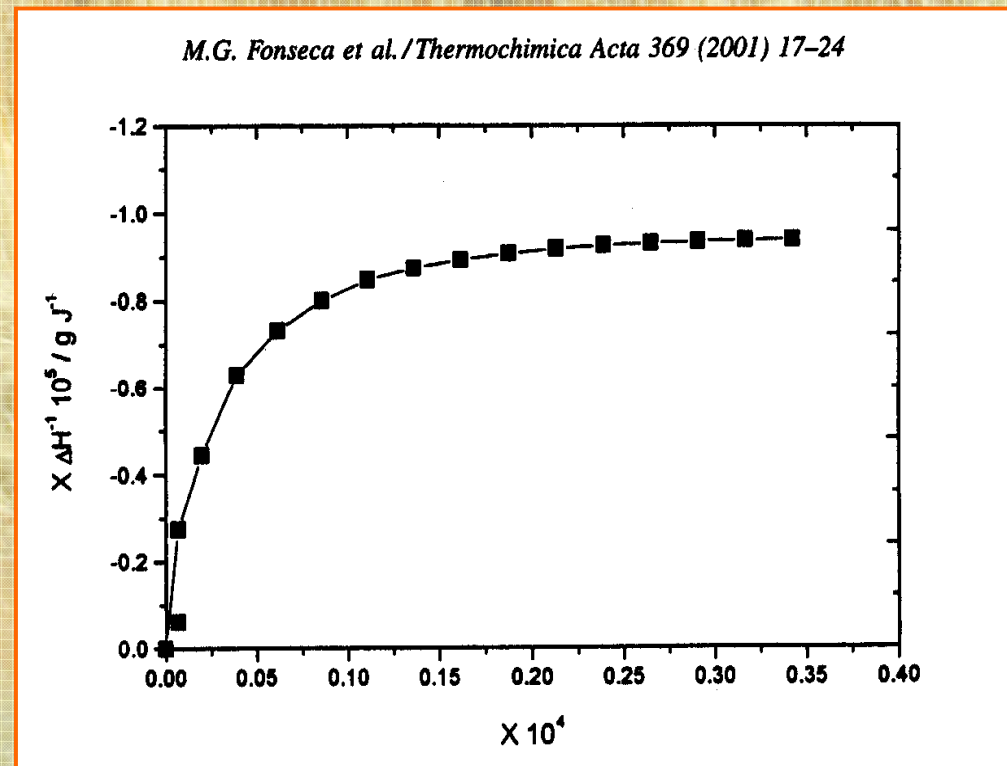
Scopo: Modifica della superficie del crisotilo con silani X_3Si-Y con X, gruppo idrolizzabile e Y, gruppo organo-funzionale per conversione dei gruppi X in silanoli durante l'idrolisi ed interazione dei silanoli formati con gli ossidrili del crisotilo.

Sintesi: reazione fra crisotilo e 3-aminopropyltrimethoxysilane



in xylene in flusso di azoto per 5 gg a 80 °C.

Applicazione: sequestro di metalli pesanti divalenti Ni, Co, Cu da soluzione acquosa a T ambiente.



Adsorbimento di gruppi amminici sulle fibre di asbesto per il sequestro di metalli pesanti (Fonseca et al., 2001)

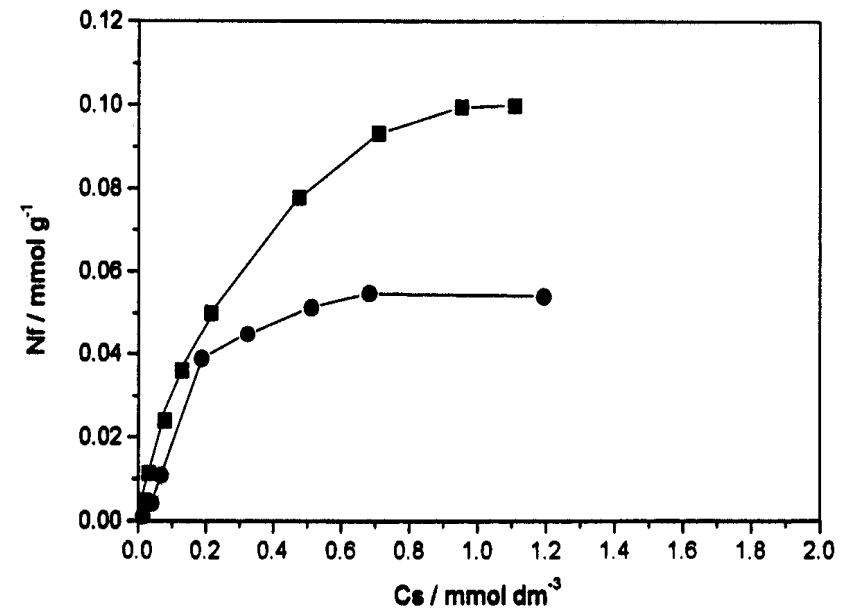
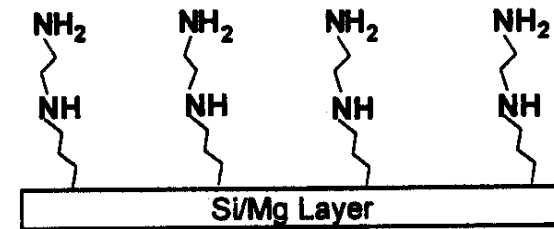
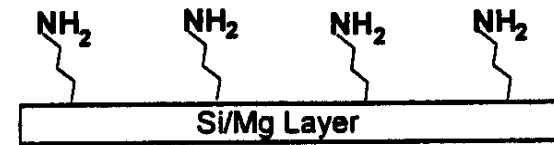
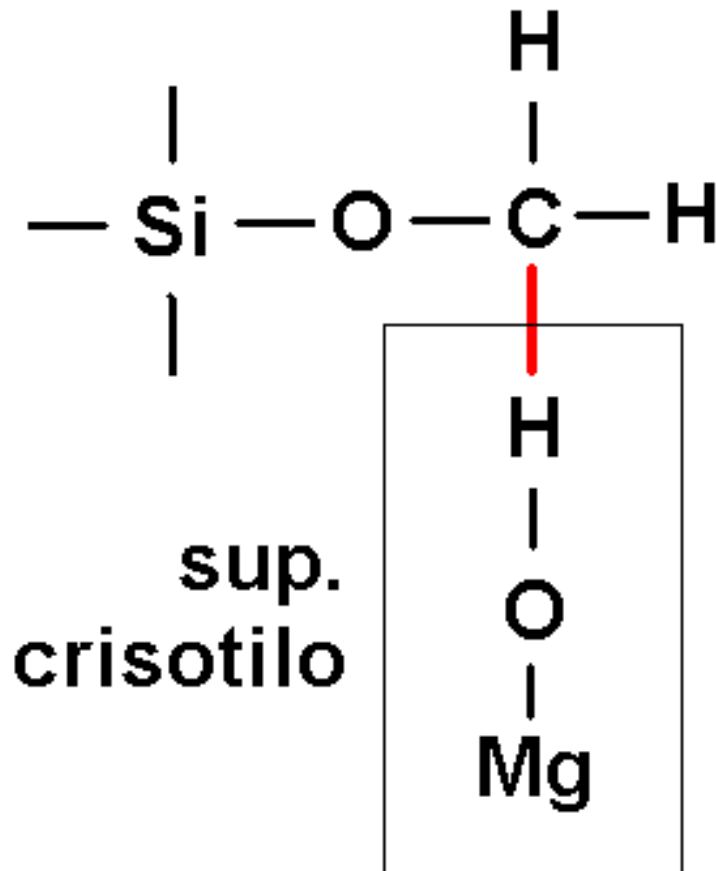
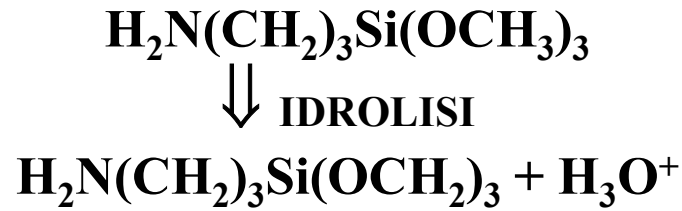


Fig. 5. Isotherms of interaction of cations Co^{2+} (—■—) and Ni^{2+} (—●—) on CRI2 surface.

Sequestro di composti organici dei detersivi da soluzioni acquose (Fachini e Joekes, 2002)

Tensioattivi come il Na-dodecylbenzene-solfonato (SDBS) sono usati nella formulazione dei detersivi.

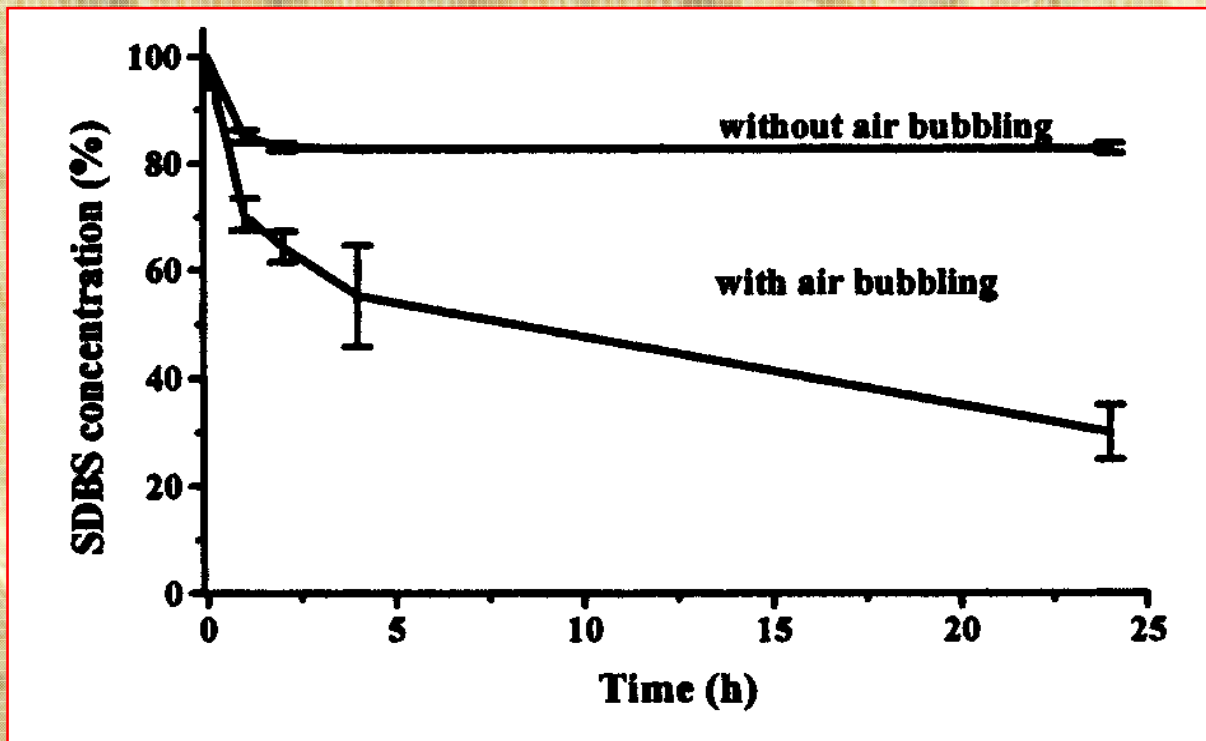
La loro rimozione nelle acque avviene lentamente attraverso un processo di biodegradazione.

Esiste la possibilità di un filtro naturale che favorisca l'adsorbimento superficiale di tali specie chimiche:

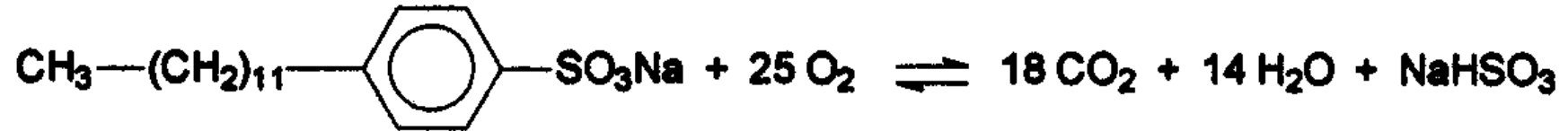
Fibre di asbesto (ca. 16 m²/g BET)

sono state utilizzate a

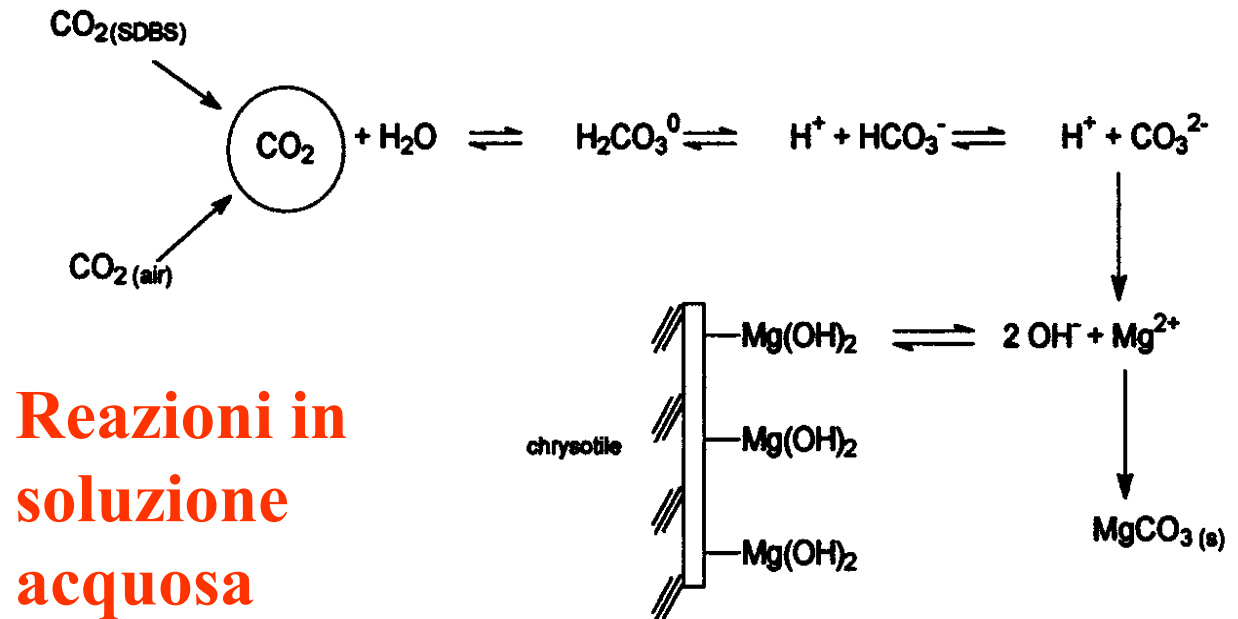
tale scopo al posto di carbone, allumina e caolinite



Sequestro di composti organici dei detersivi da soluzioni acquose (Fachini e Joeques, 2002)



L'ossigenazione favorisce il processo di decomposizione perché favorisce la produzione di CO_2

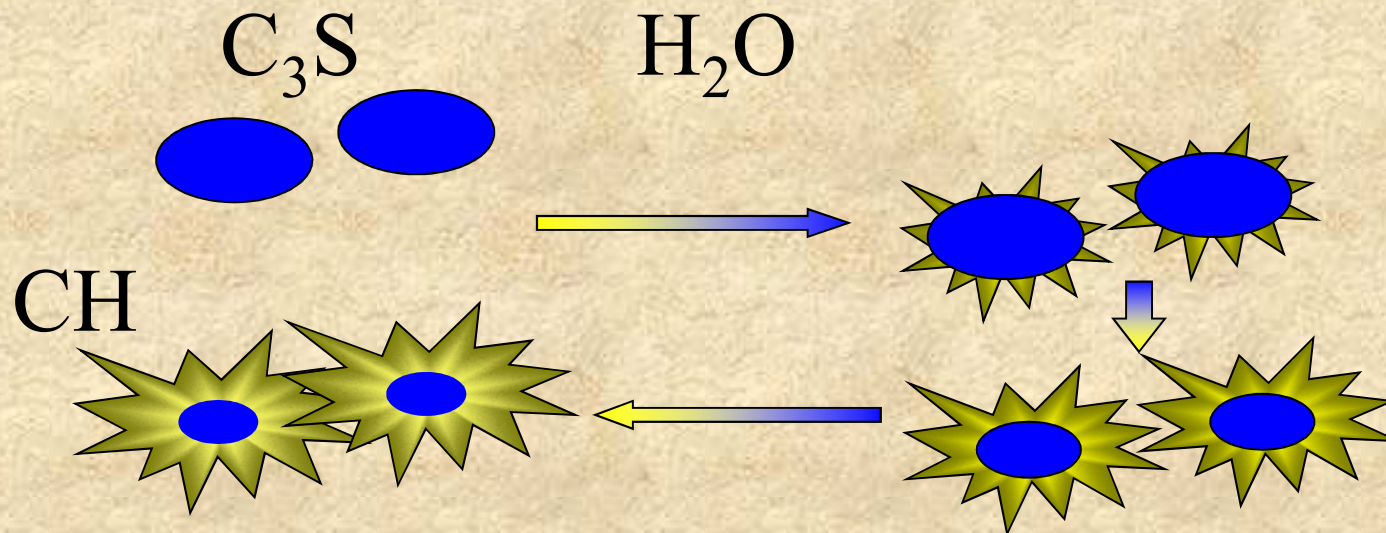


“...it was not possible to explain the interaction between the surfactant and the fibers...”

Applicazioni innovative? L'amianto favorisce l'idratazione dei cementi

Da Feric et al. 1997 (Croazia)

L'idratazione di un cemento: ex. $C_3S + H_2O \Rightarrow 2CH + C-S-H$



“The hydration reaction of the cement is intensified in the presence of asbestos”: dato che l'idratazione è un processo esotermico, una maggiore quantità di calore rilasciato viene misurata nei sistemi cemento e amianto

Amianto ed idratazione dei cementi

Per la grande area specifica ed il forte adsorbimento superficiale, il crisotilo tende a catalizzare la reazione di formazione di $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (in quantità confrontabile con il carbone attivo con ca. 0.3 mmol/g) per una quantità di siti attivi di ca. $10^{18}/\text{m}^2$.

Table 2. Chemical composition of asbestos samples

Asbestos sample	Loss on ignition	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
AC 6D	12.90	39.01	1.31	5.88	1.60	38.88
AC 7D	12.94	38.88	1.11	5.86	1.27	38.87

“...la parziale dissoluzione dello strato O con rilascio di Mg, formazione di vacanze ed eccesso di cariche negative superficiali, catalizza la reazione di Ca^{2+} ...”

Visto che la concentrazione di Ca^{2+} in soluzione diminuisce, la reazione si sposta verso il processo di idratazione.

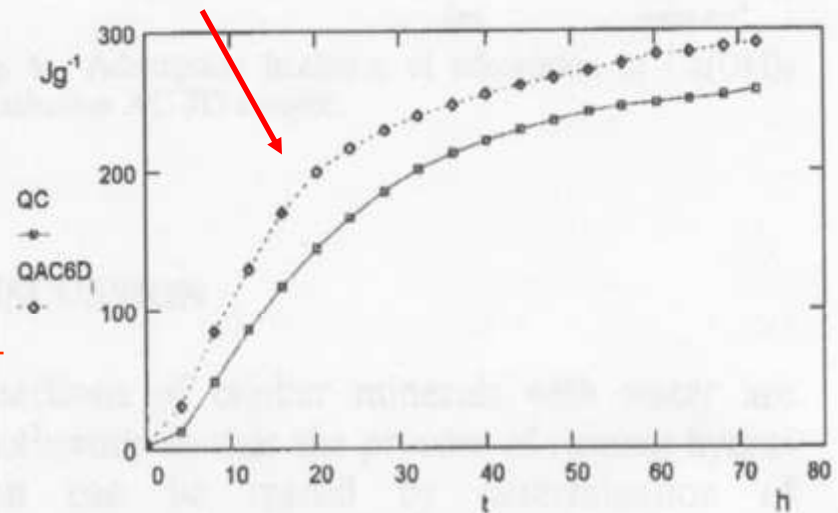


Fig. 1. Hydration heat versus time for the cement paste (C) and asbestos-cement paste AC 6D.

Applicazioni innovative dell'amianto: QUANTUM WIRES

Un campo di ricerca di grande interesse è la ricerca sugli SQD:

- Nanoscienza/nanotecnologia
- Svariate applicazioni nei campo dell'opto-elettronica e foto-conduttività (lasers, fotorivelatori, ...)

Hot topic!!!



Nanosistemi 1D

Preparati con tecniche diverse (PCVD/CVD, litografia e⁻) e proprietà ottiche specifiche dovute al confinamento monodimensionale (ex. "...narrower gain spectrum, higher differential gain, increased exciton binding energy, enhanced optical non-linearities...")

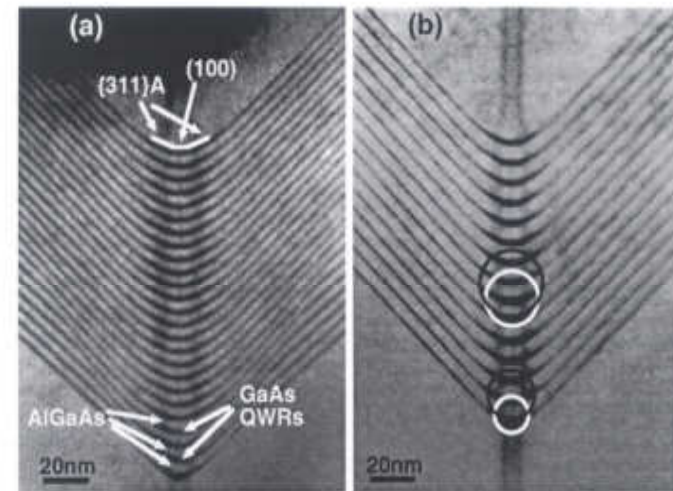
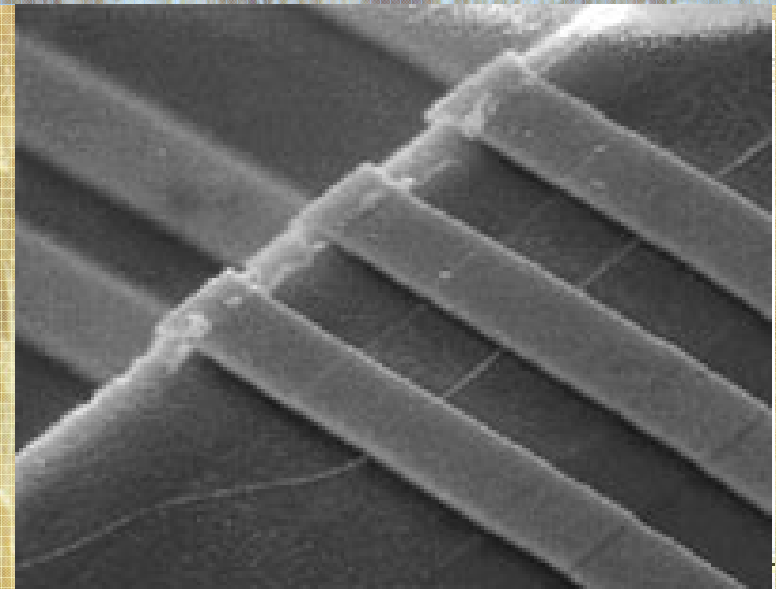


Fig. 1. Dark-field TEM cross sections of two QWR-SL samples grown at $T_g = 650^\circ\text{C}$, with $w_{\text{QWR}} = 1.8$ nm and $b_{\text{QWR}} = 2.2$ nm (a), and with $w_{\text{QWR}} = 1.8$ nm and $b_{\text{QWR}} = 7.8$ nm (b). The two pairs of circles represent the radii of curvature of the hyperbolas fitting GaAs on AlGaAs (white lines) and AlGaAs on GaAs (black lines) interfaces.

Applicazioni innovative dell'amianto: QUANTUM WIRES

- Preparazione di sistemi mono-dimensionali (nanotubi) *QWRs semiconductor nanostructures* per sistemi ottici non lineari, “riempiendo” le cavità del crisotilo (templante dielettrico trasparente) con semiconduttori quali $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ o $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$
- Riempimento delle cavità di crisotilo naturale con semiconduttore fuso (??) in pressione di 10kbar o con CVD
- Proprietà ottiche uniche dovute alle transizioni elettroniche all'interfaccia semiconduttore-dielettrico

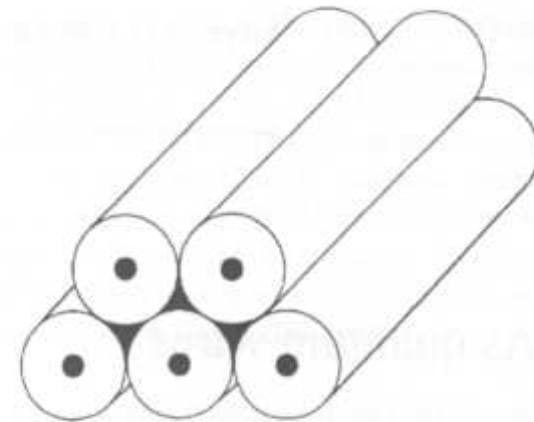
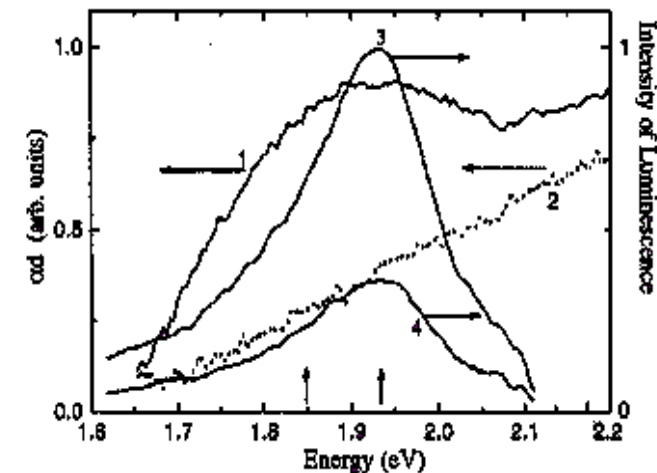
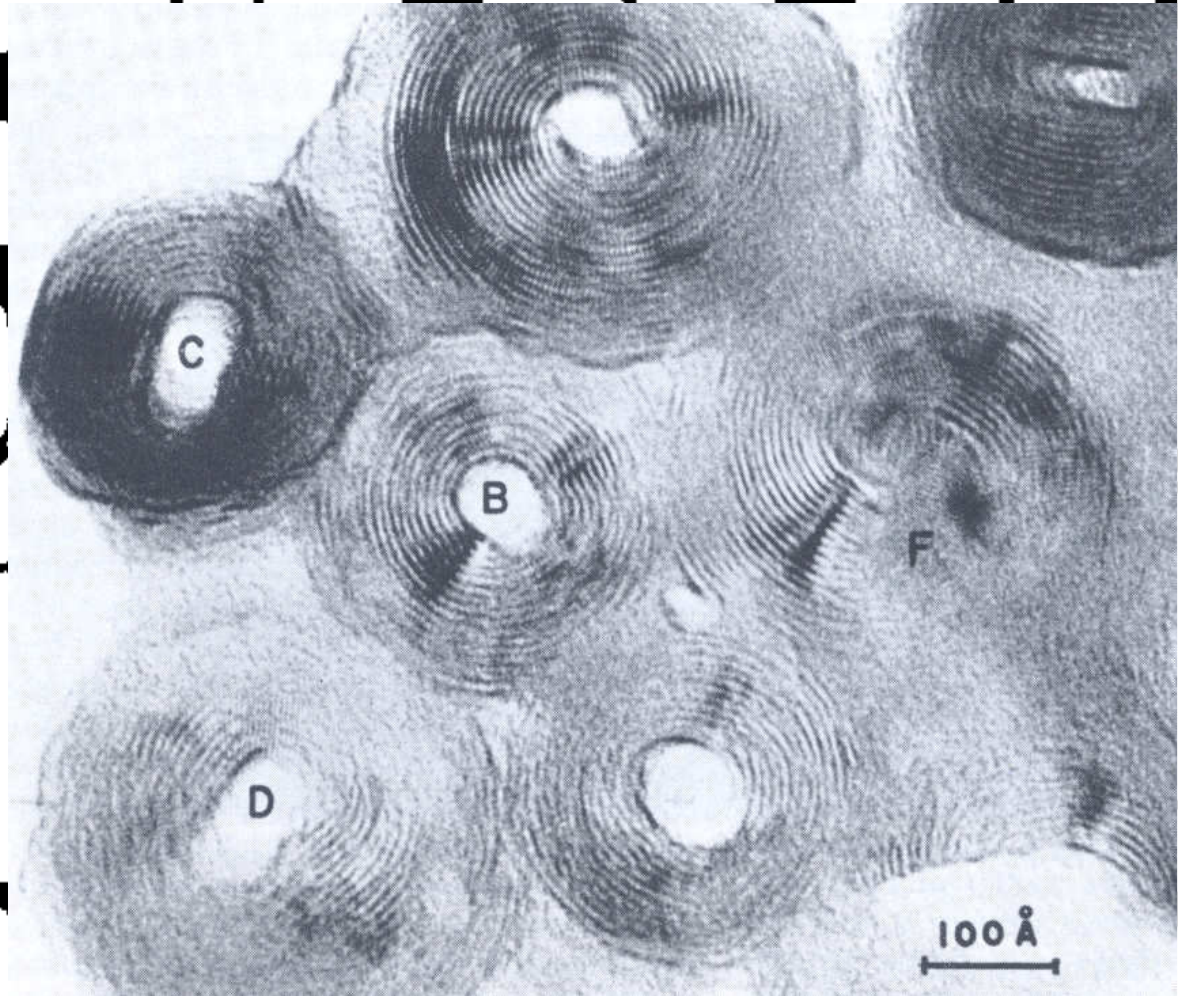
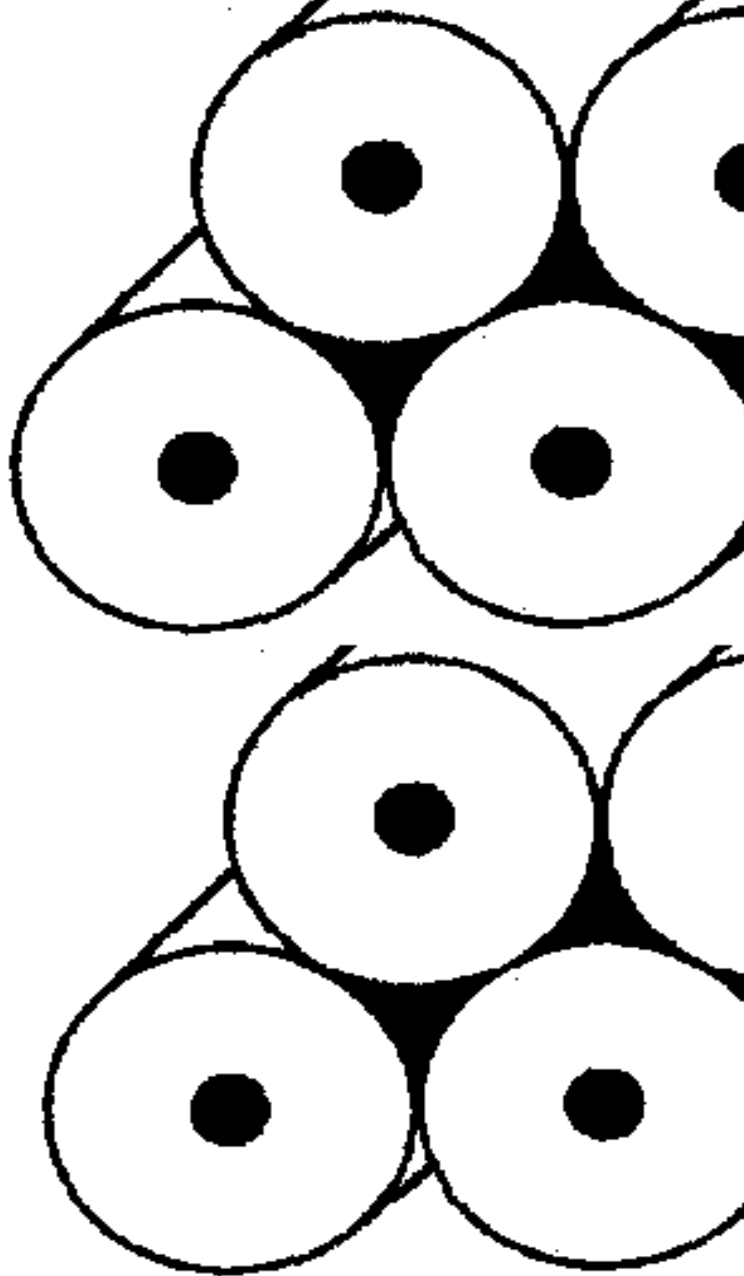


Fig. 1. A schematic picture of chrysotile asbestos nanotubes loaded with GaAs. White - chrysotile asbestos, black - GaAs.



InP in crisotilo (1); crisotilo matrice (2);
InP in crisotilo con fascio polarizzato
parallelo (3) e perpendicolare (4)

Applicazioni innovative dell'amianto: QUANTUM WIRES



caso ideale = caso reale?

Applicazioni innovative dell'amianto: QUANTUM WIRES

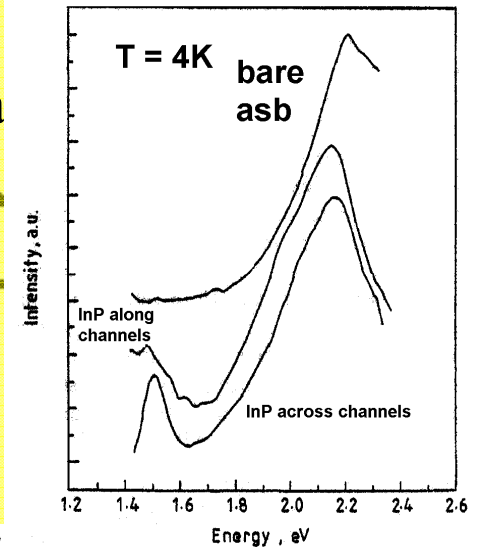
Problematiche:

L'origine degli effetti ottici non lineari non ben compresa (interazioni Columbiane? Eccitoni?) e non riproducibile!!!

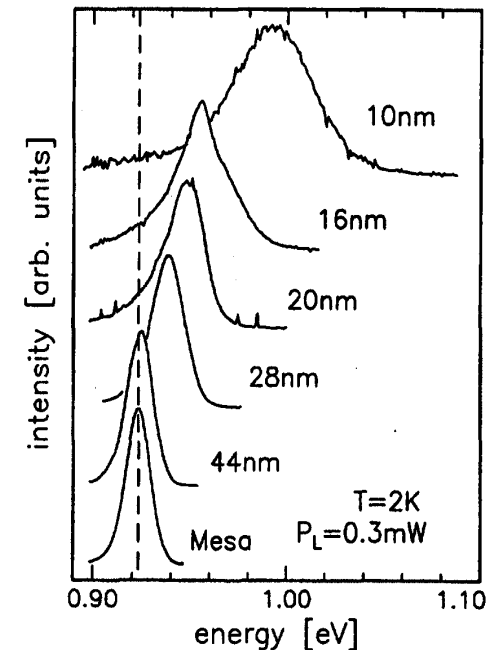
Nessuna caratterizzazione del templante (crisotilo naturale) anche se “*the role of the template is of paramount importance as it leads to large values of the exciton binding energies up to 200 meV*” (Chernoutsan et al., 2002)

“*For InSb the absence of a fine structure in the absorption peak is due to the loss of crystallinity of InSb probably due to the incompatibility of the crystalline structure and the cylindrical geometry of asbestos*” (Ivanova et al. 1995)

**Parziale o completo riempimento delle cavità?
Controllo delle dimensioni delle cavità e variabilità?
Ruolo templante in funzione della microstruttura?
Ruolo di elementi dopanti (Fe? E' veramente un dielettrico ideale?)
Ruolo della difettività?**



A. Forchel



Imparando dai sistemi naturali, un crisotilo sintetico non tossico per le varie applicazioni?



MURST

Dipartimento per la programmazione, il coordinamento e gli affari economici
Servizio per l'autonomia universitaria e gli studenti Ufficio VIII

2000
cofin

in collaborazione con
GINECA



Scopo principale ⇒ Una delle difficoltà nello studio dell'interazione dell'amianto con i sistemi biologici è l'impossibilità di disporre di una reale campionatura di riferimento. Infatti ogni campione differisce dall'altro, anche solo minimamente, per presenza di metalli e ioni estranei, per difetti e modificazioni strutturali. Esse sono talvolta fondamentali e determinanti per la relativa tossicità, stabilità, proprietà superficiali e biopersistenza.

Soluzione ⇒ sintesi di composti inorganici asbestiformi con composizione, struttura e morfologia tipica del minerale studiato, ma modificabili con il processo di sintesi in modo da poter apprezzare il ruolo delle singole modificazioni introdotte.

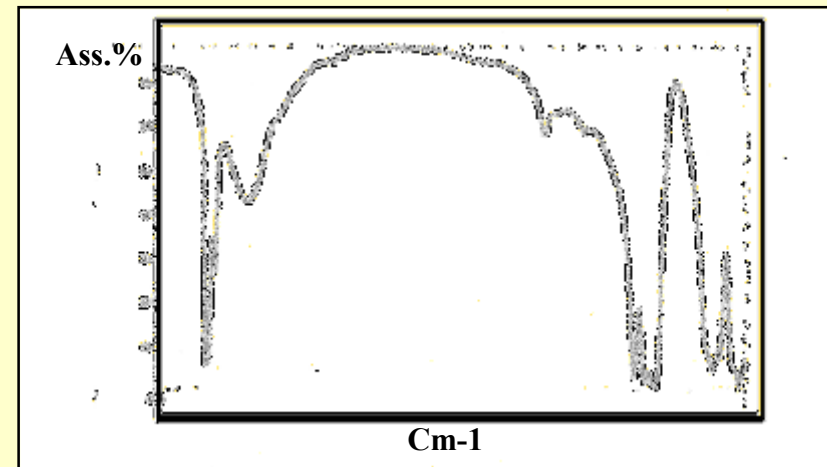
Il crisotilo sintetico

La sintesi del crisotilo non è nuova:

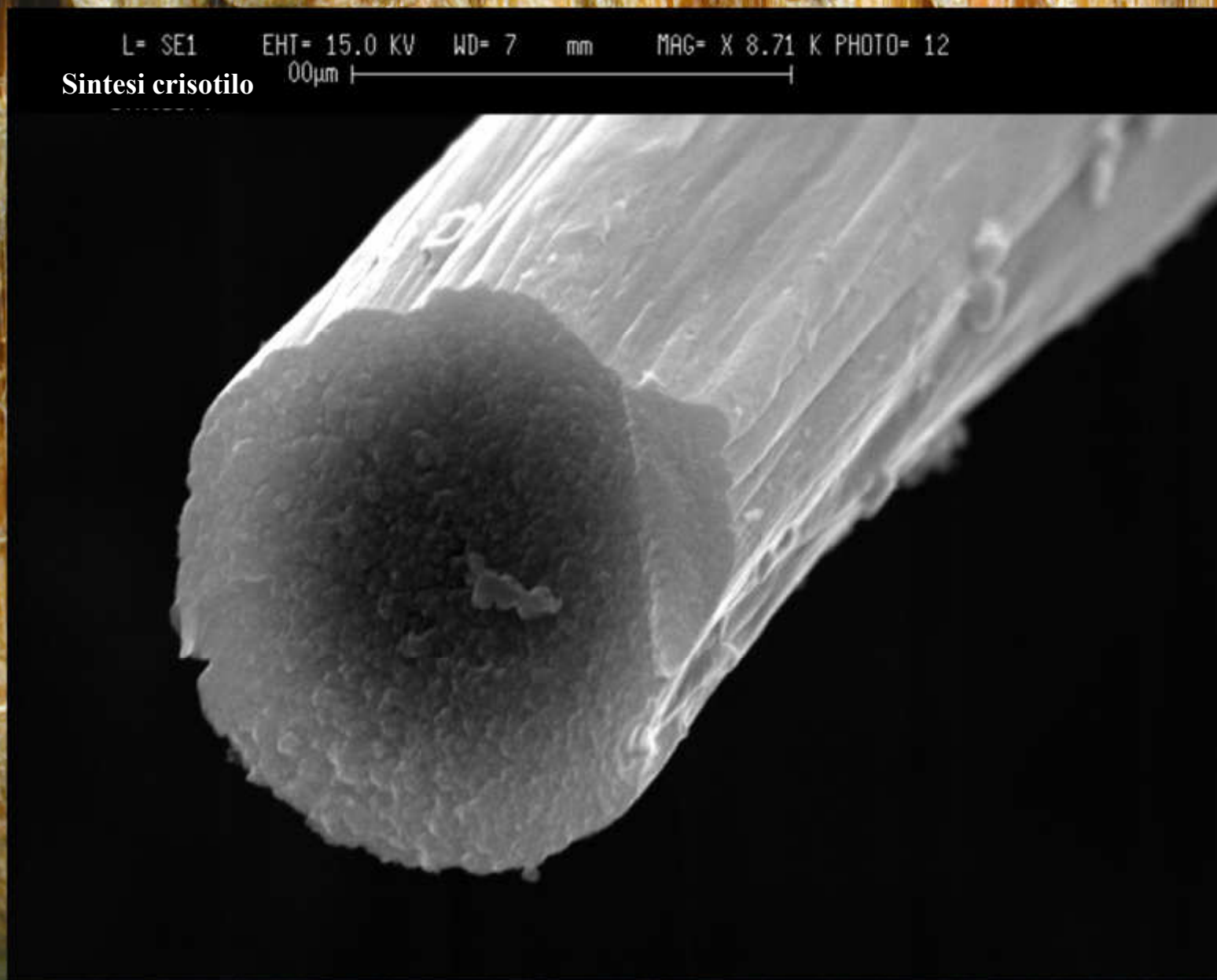
- sintesi idrotermale con MgCl e fumed silica (Noll et al. 1958; Chernosky et al. 1988; Titulauer et al. 1993)
- Serpentinizzazione di olivina naturale (Yada e Iishi 1977)
- Serpentinizzazione di diopside (Barrese et al. 1997)

Metodo usato: sintesi idrotermale in tubi di Teflon per 24 h in pressione a T=300 °C

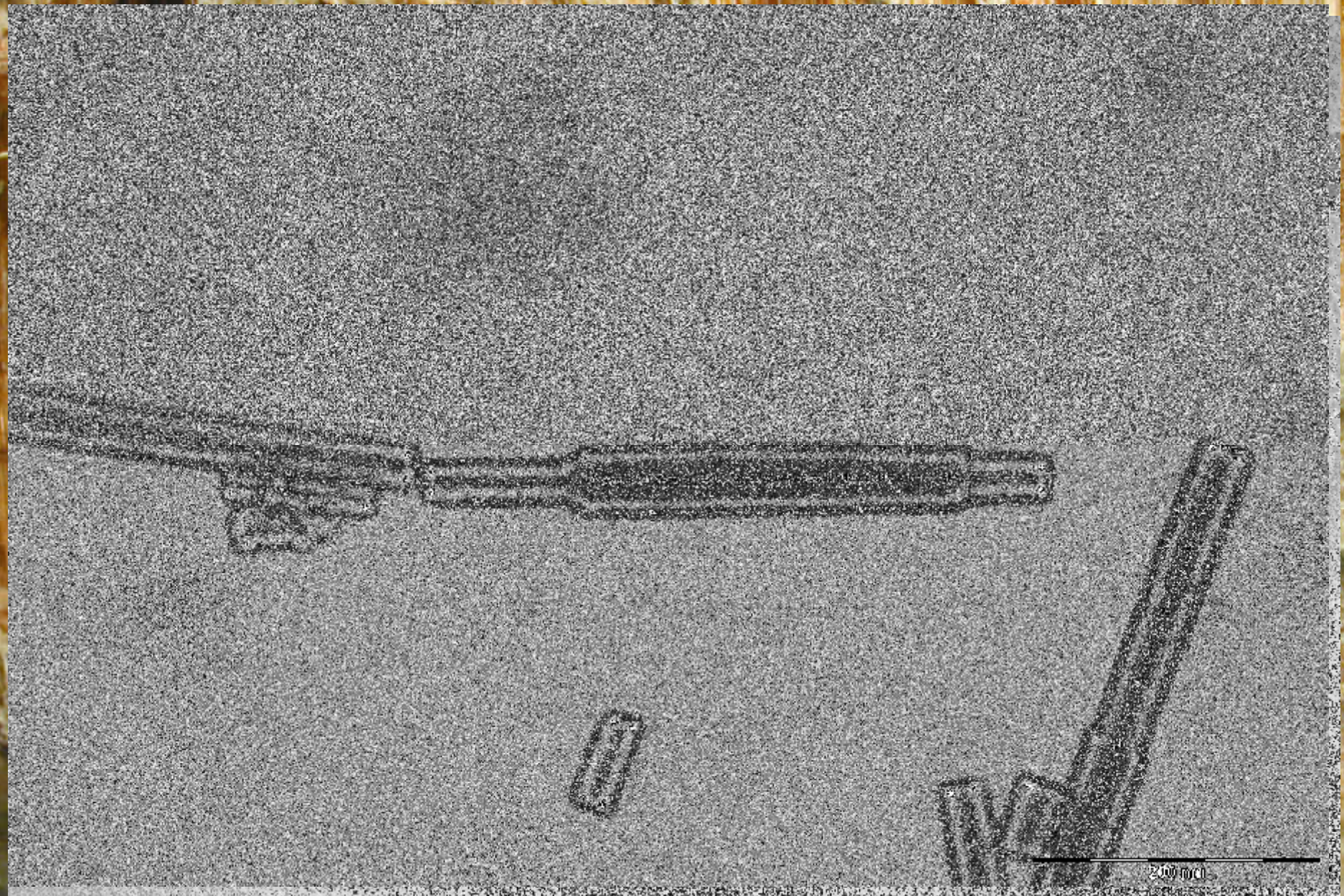
Morfologia, spettro FTIR e XRPD confrontabili con quelli esistenti in letteratura (Titulauer et al. 1993)



Il crisotilo sintetico: caratterizzazione-1



Il crisotilo sintetico: caratterizzazione-2

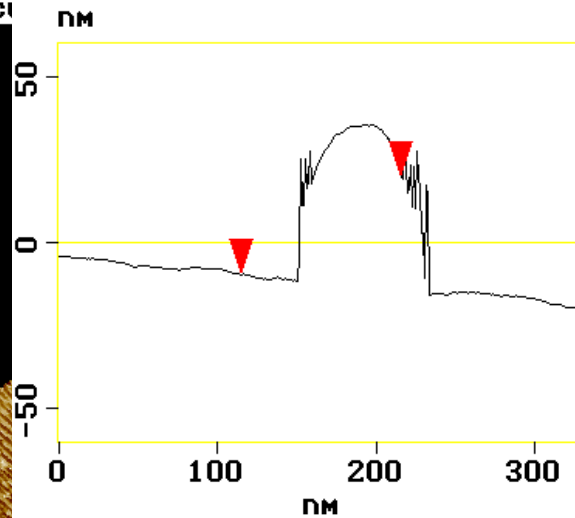


Il crisotilo sintetico: caratterizzazione3

Cursor Marker Spectrum Zoom Center Line Offset Clear

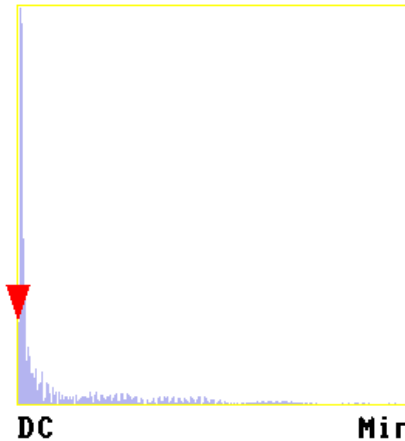
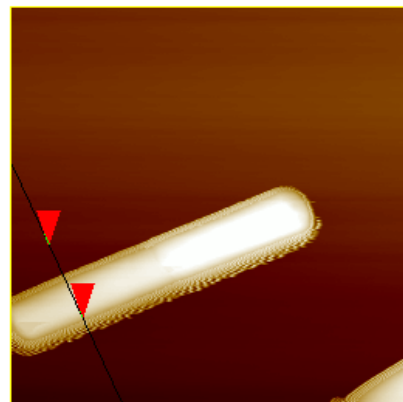
Section Analysis

Clear Exec



L	100.59 nm
RMS	20.045 nm
lc	DC
Ra(lc)	8.553 nm
Rmax	42.603 nm
Rz	32.075 nm
Rz Cnt	4
Radius	44.530 nm
Sigma	7.903 nm

Spectrum



Surface distance	202.85 nm
Horiz distance(L)	100.59 nm
Vert distance	29.404 nm
Angle	16.295 deg
Surface distance	
Horiz distance	
Vert distance	
Angle	
Surface distance	
Horiz distance	
Vert distance	
Angle	
Spectral period	DC
Spectral freq	0 Hz
Spectral RMS amp	2.369 nm

marco.000

Cursor: fixed Zoom: 2:1 Cen line: Off Offset: Off

giorgio.012

Il crisotilo sintetico: patogenicità

da Gazzano et al. 2003:

- La reattività superficiale di dette fibre in reazioni notoriamente collegabile alla patogenicità è ridotta rispetto al crisotilo naturale standard UICC (Union Nationale Contre le Cancer)!
- La tossicità del crisotilo naturale e sintetico è stata studiata su cellule epiteliali polmonari umane A549 in coltura, esposte alle fibre (5 µg/ml) per 24 ore: mentre il crisotilo naturale, in maniera analoga alla crocidolite, ha inibito significativamente la via dei pentosofosfati (principale sistema di difesa antiossidante cellulare), ha stimolato la produzione del radicale libero NO (misurato come accumulo di nitrito) ed ha esercitato un chiaro effetto citotossico (misurato come rilascio extracellulare dell'enzima lattico deidrogenasi), il crisotilo sintetico non ha significativamente modificato questi tre parametri rispetto alle cellule di controllo!

NUOVE PROSPETTIVE per l'amianto

Non necessariamente LA MODIFICA DI COMPOSTI NATURALI implica problematiche socio-economiche ed etiche (vedi OGM)...

La creazione di un **crisotilo sintetico puro** sul modello quelli naturali ne permette l'uso come standard di riferimento per:

- *test tossicologici*
- *analisi di laboratorio quantitative*

ed è la base di partenza per progettare **nanosistemi** mono- dimensionali aventi proprietà chimico fisiche tali da renderli possibili sostituti dell'amianto (D.M. 12/2/97) ma anche per i **cementi** ed altro...

Nel caso dei **1D-QW** le conseguenze sono ovvie:

- *Materiale non tossico e dielettrico reale*
- *Controllo della natura e quantità di dopante per modificare le proprietà elettriche*
- *Controllo dimensionale e della difettività*
- *Modificare e controllare le condizioni di SINTESI*
- *Reale comprensione e verifica sperimentale dei fenomeni ottici*

Conclusioni

La conoscenza della struttura e della microstruttura delle fasi naturali, permette di creare controparti sintetiche con proprietà e/o caratteristiche chimico-fisiche e tecnologiche mirate

La creazione di un

NANO-CRISOTILO non tossico ne permette il possibile rilancio dell'asbesto in nuove applicazioni industriali sicure per l'ambiente di vita e di lavoro



**WHEN THE FIRE ALARM WENT OFF,
IT TOOK TWO HOURS TO EVACUATE
NEW YORK'S WORLD TRADE CENTRE.**

The bigger the building, the more important fire-proofing becomes.

That's why today's buildings have asbestos-cement walls and even floors containing asbestos.

Asbestos contains fire, cannot burn and holds up after metal and glass have melted down, giving vital time for people to escape.

You'll also find asbestos sealing plumbing joints, insulating heating pipes, electric motors and emergency generators.

Asbestos. We couldn't live the way we do without it.

When life depends on it nano-asbestos

Asbestos Corporation Limited,
Sun Life Building,
Montréal, Québec H3B 2X6,
Canada.

Represented by:
Becker & Haug (GmbH & Co.)
P.O. Box 100 548, Spadenteich 1-3
2000 Hamburg 1, Germany (FOR WEST GERMANY,
EAST GERMANY, AUSTRIA AND HUNGARY)
Other representatives world-wide.

The irony of hindsight: The massive amount of asbestos in the buildings did not protect the people in them
Advertisement in Asbestos Magazine, November 1981