

# **Inertizzazione di Residui Contendenti Amianto Mediante un Processo Idrotermico Innovativo**

**Progetto di Ricerca Industriale Interuniversitario**

**Partners:**

SSistemi (A. Servida)

Politecnico di Milano (G. Nano)

Università degli Studi di Genova (S. Grassi e A. Servida\*)

[servida@unige.it](mailto:servida@unige.it)

# Obiettivo

---

- Ci si propone di illustrare un processo innovativo di inertizzazione di residui contenenti amianto (RCA) (a matrice inorganica e organica).
- Il processo rappresenta una valida alternativa ai trattamenti termici ad alta temperatura e al confinamento in discarica. (Brevetto Italiano: VI2005A000174; Brevetto Europeo: 2038019)
- L'intertizzazione di RCA avviene per trattamento idrotermico in acqua supercritica (ASC):  $T > 374,1^{\circ}\text{C}$ ,  $P > 22,1 \text{ MPa}$ ) di RCA.

*Poiché il processo porta alla totale distruzione delle fibre di amianto, in accordo con il DM n. 208 del 29/07/2004, il prodotto finale è destinabile al riutilizzo come materia prima.*

# Il Problema Amianto: Introduzione

---

## Cos'è l'Amianto?

- Sotto il nome di amianto sono raggruppati numerosi silicati idrati, di varia composizione chimica, a struttura microcristallina e di aspetto fibroso.
- I 2 gruppi mineralogici che includono i principali tipi di amianto sono:
  - **ANFIBOLI (silicati di calcio e magnesio)** di cui fanno parte:
    - Crocidolite (o amianto blu)**
    - Amosite (o amianto bruno)**
    - Antofillite**
    - Actinolite**
    - Tremolite**
  - **SERPENTINO (silicati di magnesio)** di cui fa parte:
    - Crisotilo (o amianto bianco) (90% produzione mondiale)**

## Il Problema Amianto: i Numeri (1)

---

- In Italia, l'amianto è stato bandito (vietata l'estrazione, l'importazione, la produzione, l'esportazione e l'utilizzo) con la legge n. 257 del 1992.
- In passato l'amianto è stato impiegato in un ampio spettro di applicazioni finali in quantità enormi.
- Nel 2003 (con il DM 101 del 18/03/2003) è stata prevista e finanziata la mappatura dell'amianto sul territorio nazionale.
- Non tutte le Regioni hanno risposto. Nel **Nord Italia** si hanno valori abbastanza attendibili per gli edifici pubblici e per le grandi aziende. Nel **Centro Italia**, solo l'Umbria e la Toscana hanno fornito dati attendibili. Nel **Sud Italia**, solo la Sardegna ha fornito dati attendibili per gli edifici pubblici.

# Il Problema Amianto: i Numeri (2)

---

Relazione sull'attività dell'anno 2009 (Minist. Ambiente, 2009)



## Il Problema Amianto: i Numeri (3)

---

- L'amianto è stato una delle poche materie prime minerali estratte nel nostro Paese.
- La miniera (cava) di crisotilo di Balangero (Piemonte), la più grande dell'Europa occidentale, produceva (nei periodi d'oro) fino a 140-200 kt/anno di crisotilo a fibra lunga e 1 Mton/anno di sterili.
- I materiali contenenti amianto possono essere suddivisi in due grandi categorie: *friabili e non friabili*.
- **Materiali friabili:** amianto puro o mescolato con materiali non strutturali (carta, nastri, tessuti, polveri ...). Rappresentano circa il **15% del totale dei RCA** (rifiuti contenenti amianto).

## Il Problema Amianto: i Numeri (4)

---

- **Materiali non friabili:** amianto (10-12%) mescolato con inerti e cemento (88-90%) per formare i fibrocementi. Costituiscono circa il **75 -80 % dei RCA**.
- Tra i materiali non friabili si considerano anche i così detti "linoleum" materiali in matrice organica, costituiti da amianto (15-30%) e da inerti, coloranti e resine sintetiche (70-85%). Rappresentano circa il **5 - 10% dei RCA**.
- **IN ITALIA:** l'amianto è attualmente presente in enormi quantità; sono stimati (Plescia, 2010):
  - **24 Mt** cemento amianto;
  - **4.5 Mt** di amianto friabile;
  - **0.5-1 Mt** di vinilici;
  - **20 Mt** sterili con amianto (pietrisco).

# Il Problema Amianto: i Numeri (5)

Legambiente - I ritardi dei Piani regionali per la bonifica dell'amianto

## I censimenti regionali delle strutture contenenti amianto

Regione (stato del censimento)	Edifici pubblici	Edifici privati	Altri siti contaminati censiti	Materiale contaminato da amianto
Abruzzo (completato)	1.900	n.d.	Aziende agricole, opifici, rete idrica, parco veicolare	7.773.553 m <sup>2</sup> 24.127 m <sup>3</sup> 179.591 kg
Basilicata (completato)	199	165		400.000 m <sup>2</sup> di coperture oltre a 20.800 m <sup>3</sup> di amianto friabile
Campania (completato)	-	-	-	-
Emilia-Romagna (completato)	1.020	-	20 aree di cava, 158 tra siti e impianti industriali	-
Friuli Venezia Giulia (completato) dati al 2006	-	-	597	1.064.000 m <sup>2</sup>
Lazio (in corso)	1.175	-	-	2.907 t
Liguria (in corso)			39.500 notifiche di siti o strutture	600.000 m <sup>3</sup> amianto friabile 50.000 t amianto compatto
Lombardia (in corso)	4.228	23.972	1.033 siti con amianto friabile	2.700.000 m <sup>3</sup> (pari a 81 milioni di m <sup>2</sup> )
Molise (completato)	594	58	-	521.005 m <sup>2</sup>
P.A. Trento (in corso)	-	-	-	-
Piemonte (completato)	12.386		120 siti con presenza di polverino oltre a 31 aree di cava	1.000.000 m <sup>2</sup> (dato riferito solo alle coperture presenti a Casale Monferrato)
Puglia (completato)	2.751 (totale siti e strutture contaminate)			1.140.000 m <sup>2</sup>
Sardegna (in corso)	1.085	-	-	12.395.301 m <sup>2</sup>
Sicilia (in corso)	-	-	-	-
Toscana (completato)	1.145		10 aree di cava	632.051 m <sup>2</sup>
Umbria (completato)	84	104	-	268.544 m <sup>2</sup>

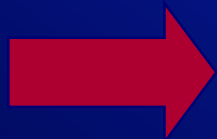
Fonte: elaborazione Legambiente su dati forniti da Regioni e Province autonome (aprile 2010)



# Il Problema Amianto: Come Smaltirlo (1)

---

- Si possono identificare tre strategie:
  - Discariche;
  - Spedirlo altrove;
  - Processi di trattamento/trasformazione/inertizzazione



*Il conferimento in discarica non risolve il problema*

## Il Problema Amianto: Come Smaltirlo (2)

---

- Con il DM del 29/04/2004 n. 234 è stato definito un regolamento per la determinazione e la disciplina delle attività di recupero dei materiali contenenti amianto.
- La normativa definisce due strategie principali:
  - stabilizzazione in matrici cementizie o plastiche da mandare in discarica (rifiuti stabili e non reattivi);
  - trattamenti di inertizzazione con metodi chimico-fisici che portano alla formazione di materiali recuperabili in quanto non hanno più le caratteristiche cristallografiche e morfologiche dell'amianto.

# Il Problema Amianto: Come Smaltirlo (3)

Oggi tre sono i principali processi di trattamento degli RCA

**Inglobamento**

- Condizionamento in matrice cementizia o polimerica

Declassano i rifiuti, rendendoli meno pericolosi e consentendo lo stoccaggio in discariche di categoria 2A, più economiche e di più facile gestione rispetto a quelle speciali (2B o 2C).

**Chimico-fisici**

- Attacco chimico

**• Trattamento Idrotermico**

Eliminano completamente il rifiuto trasformandolo in una fase cristallina non fibrosa e non tossica.

**Termici**

- Litificazione
- Vetrificazione
- Ceramizzazione

# Il Problema Amianto: Come Smaltirlo (4)

Dall'allegato del DM 29 luglio 2004 n. 248

Tipologia di trattamento	Effetto	Destinazione materiale ottenuto
Modificazione chimica	Trasformazione totale delle fibre di amianto	Riutilizzo come materia prima
Modificazione meccanochimica		
Litificazione		
Vetrificazione		
Vetroceramizzazione		
Mitizzazione pirolitica		
Produzione di eliaker		
Ceramizzazione		

# Il Problema Amianto: Come Smaltirlo (5)

Trattamento	Principio	Volume del prodotto	Destinazione finale
<b>TRATTAMENTI FINALIZZATI AL CONTENIMENTO DEL POTENZIALE INQUINANTE DEGLI RCA SENZA TRASFORMAZIONE DELLA STRUTTURA DELL'AMIANTO</b>			
Condizionamento in matrice cementizia	Impasto con cemento ed eventuali additivi	Inferiore al volume iniziale	Discarica
Condizionamento in matrice di resine	Miscelazione con materiali polimerici	Superiore al volume iniziale	Discarica
Attacco chimico	Modificazione della struttura del rifiuto e precipitazione di sali non tossici	Aumento a seguito della formazione di fanghi di trattamento	Discarica Industria Edile
Litificazione	Fusione a temp. elevate (1300-1450 °C)	Inferiore al volume iniziale	Discarica Industria Edile
Litificazione pirolitica	Produzione di argilla espansa	Superiore al volume iniziale	Discarica Industria Edile
Vetrificazione	Fusione con additivi a temperature elevate (1000-1300 °C)	Inferiore al volume iniziale	Discarica
Produzione di clinker	Fusione con calcare ed argilla	Inferiore al volume iniziale	Uso come cemento idraulico
Ceramizzazione	Cottura a 800-1000 °C	Inferiore al volume iniziale	Isolante termico ed elettrico
Vetroceramizzazione	Fusione a 1300 °C Cristallizzazione a 900 °C	Inferiore al volume iniziale	Isolante termico, pavimentazioni
Litificazione pirolitica	Fusione in forni per argilla espansa	Inferiore al volume iniziale	Isolante termico, acustico, cementi leggeri
Trasformazioni mecanochemiche	Distruzione della struttura cristallina mediante stress meccanico	Inferiore al volume iniziale	Inerte Filler Catalizzatori



# Il Problema Amianto: Come Smaltirlo (6)

TRATTAMENTI DEGLI MCA A FREDDO MEDIANTE STABILIZZAZIONE/SOLIDIFICAZIONE IN MATRICE CEMENTIZIA				
REMATT	Belgio	Rematt	fissa	operativo
PETRACEM	Italia	Petracem	fissa/mobile	pilota
DIWANA	Italia	Diwana	fissa/mobile	pilota
ATOXIM	Italia	F. Bigelli	fissa/mobile	pilota
DEPURACQUE (ENEA)	Italia	ENEA	mobile	pilota
ICAM	Italia	ENEA - Smoglass	mobile	pilota
NUCLECO	Italia	Nucleco S.p.A.	fissa	pilota
TRATTAMENTI CHIMICI DEGLI MCA				
TRESENERIE	Belgio	W097/00099	fissa/mobile	laboratorio
SOLVAS	Germania	Solvay Umweltechnik	mobile	pilota
TRATTAMENTI DEGLI MCA MEDIANTE VETRIFICAZIONE PER FUSIONE				
INERTAM	Francia	Inertam	fissa	operativo
TERCA	Italia	ENEL	mobile	pilota
C.S.M. - ENEA	Italia	C.S.M. - ENEA	mobile	pilota
VERULTIM	Francia	domanda n. 9603144	fissa	studio di fattibilita
MVP - VERT	Gran Bretagna	VERT	fissa/mobile	pilota
VITRIFIX	Gran Bretagna	EP0145350A2	fissa/mobile	pilota
CEA	Francia	FR2668-726	fissa/mobile	laboratorio
DEFI-SYSTEMES	Francia	domanda n. 9607262	fissa/mobile	pilota
I.N.P.G. ENTERPRISE	Francia	I.N.P.G. Enterprise (Politecnico di Grenoble)	fissa/mobile	pilota
VETRIFICAZIONE ENEA	Italia	ENEA	fissa	laboratorio
VETRIFICAZIONE ENEL	Italia	MI98A002194	fissa	trasferibile su impianti esistenti
C.S.M. (produzione di lana di roccia)	Italia	C.S.M.	fissa	pilota
LITIFICAZIONE	Italia	C.S.M.	fissa	laboratorio
VETROCERA- MIZZAZIONE	Italia	EP0696553A1	fissa/mobile	laboratorio
AMGLASS '96 - CERAM '93				
TRATTAMENTI DEGLI MCA TRAMITE CONVERSIONE TERMICA				
ASBEST EX SYSTEM	Germania	EP0484866	fissa	pilota
ACS REGENCY	USA Gran Bretagna	US5096682	mobile (fissa)	disponibile
CORDIAM	Italia	RM95A000269 EP0696560A1	fissa/mobile	laboratorio
PROCESSO PER LA PRODUZIONE DI WOLLASTONITE	Italia	MI98A002194	fissa/mobile	laboratorio
PRODUZIONE DI CLINKER	Europa / Germania	DE4312102A1 DE4411324A1	fissa	laboratorio
ITALCEMENTI	Italia	MI92A001803	fissa	laboratorio
TRATTAMENTI DEGLI MCA MEDIANTE PROCESSI PIRO-METALLURGICI ED ELETTROLITICI				
MAGNOLA	Canada	Noranda Inc.	fissa	pilota
MAGRAM	Gran Bretagna	Universita di Manchester- UMIST	fissa	pilota
PROCESSI MECCANOCHIMICI PER ULTRA MACINAZIONE	Europa		fissa/mobile	laboratorio

# Il Problema Amianto: Come Smaltirlo (7)

Processo	Energia	Tipo di additivi	Tipo di scarti trattati	Valorizzazione dei residui
<b>TRATTAMENTI DEGLI MCA A FREDDO MEDIANTE STABILIZZAZIONE/SOLIDIFICAZIONE IN MATRICE CEMENTIZIA</b>				
REMATT	elettricità	nessuno	principalmente cemento-amianto	discarica
PETRACEM	elettricità	additivo incapsulante	principalmente cemento-amianto	discarica
DIWANA	elettricità	additivo incapsulante	principalmente cemento-amianto	discarica
ATOXIM	elettricità	nessuno	principalmente cemento-amianto	discarica
DEPURACQUE (ENEA)	elettricità	additivi bagnanti	principalmente cemento-amianto	discarica
ICAM	elettricità	additivi incapsulanti / bagnanti	principalmente cemento-amianto	discarica
NUCLECO	elettricità	nessuno	principalmente cemento-amianto	discarica
<b>TRATTAMENTI CHIMICI DEGLI MCA</b>				
TRESENERIE	elettricità gas	NaOH	floccati/CA	granulati per l'industria delle ceramiche, refrattari, componenti del cemento, industria delle costruzioni
SOLVAS	elettricità	HF, Ca (OH) <sub>2</sub>	principalmente floccati	industria chimica granulati
<b>TRATTAMENTI DEGLI MCA MEDIANTE VETRIFICAZIONE PER FUSIONE</b>				
INERTAM	elettricità	nessuno	principalmente floccati	granulati
TERCA	elettricità	nessuno (eventualmente bassofondenti)	principalmente floccati	granulati
C.S.M. - ENEA	elettricità	nessuno (eventualmente fondenti)	principalmente floccati	granulati
VERULTIM	gas	nessuno	principalmente floccati	industria delle costruzioni granulati
MVP - VERT	gas	silice allumina CaCO <sub>3</sub> MgCO <sub>3</sub>	tutti i tipi di MCA	granulati
VITRIFIX	elettricità	sabbie silicee e carbonati NaOH (fondenti alternativi) scarti di vetro	floccati cemento-amianto	granulati
CEA	elettricità	nessuno	principalmente floccati	granulati
DEFI-SYSTEMES	elettricità	nessuno	principalmente floccati	granulati
I.N.P.G. ENTERPRISE	elettricità	nessuno	principalmente floccati	granulati
VETRIFICAZIONE E ENEA	elettricità	reflui metallurgici reflui galvanici	tutti i tipi di MCA	industria del vetro industria delle costruzioni granulati
VETRIFICAZIONE E ENEL	gas	ceneri di carbone	principalmente floccati	granulati
C.S.M. (produzione di lana di roccia)	elettricità	silico-alluminati scorie d'altoforno	principalmente floccati	lana di roccia
LITIFICAZIONE	gas	nessuno argilla/olio combustibile	tutti i tipi di MCA	granulati argilla espansa vetri a discreta

# Il Problema Amianto: Come Smaltirlo (8)

VETRO-CERAMIZZAZIONE ANGLASS '96 - CERAM '93	elettricità gas	fanghi goethitici e jarositici eventuale CaCO <sub>3</sub> ed Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	tutti i tipi di MCA	componente cristallina materiali per refrattari materiali da rinforzo materiali d'attrito materiali da costruzione
<b>TRATTAMENTI DEGLI MCA TRAMITE CONVERSIONE TERMICA</b>				
ASBEST EX SYSTEM	elettricità	nessuno	tutti i tipi di MCA	granulati industria della ceramica
ACS REGENCY	elettricità	borace	tutti i tipi di MCA	granulati agricoltura trattamento dei suoli trattamento delle acque
CORDIAM	elettricità	argilla caolinica	tutti i tipi di MCA	cordierite
PROCESSO PER LA PRODUZIONE DI WOLLASTONITE	elettricità	carbonati (scarti industria edile) scarti di vetro	tutti i tipi di MCA	materiali ceramici ad alta refrattarietà materiali per laterizi e fritte pannelli isolanti
PRODUZIONE DI CLINKER	gas combustibile secondario	nessuno	principalmente cemento-amianto	costituenti del cemento
ITALCEMENTI		nessuno	principalmente cemento-amianto	costituenti del cemento
<b>TRATTAMENTI DEGLI MCA MEDIANTE PROCESSI PIRO-METALLURGICI ED ELETTROLITICI</b>				
MAGNOLA	elettricità		principalmente crisotilo	magnesio
MAGRAM	elettricità	dolomite calcinata ferro-silicio allumina	principalmente crisotilo	magnesio
PROCESSI MEC-CANOCHEMICI PER ULTRAMACINAZIONE	elettricità	nessuno	tutti i tipi	materiali ad alta superficie specifica catalizzatori per l'industria chimica filler

## Il Problema Amianto: Come Smaltirlo (9)

---

I processi di trattamento di inerbizzazione e rispodono alla direttiva europea 2008/96/CE (18/11/2008) che definisce la gerarchia dei rifiuti, ovvero la "priorità della normativa e della politica in materia di prevenzione e gestione dei rifiuti"



## Il Problema Amianto: Come Smaltirlo (10)

---

- La scelta della tecnologia migliore dovrebbe essere effettuata sulla base di *criteri (indici) oggettivi* che possono aiutare a *misurare la reale sostenibilità* di una specifica opzione tecnologica.
- Una tecnologia per essere realmente sostenibile deve *soddisfare la regola delle tre E: Economia, Ecologia, Equità.*

*La sostenibilità si raggiunge solo se la tecnologia è sostenibile dal punto di vista economico, ambientale e sociale!!!!!!*



## Il Problema Amianto: Discarica (1)

---

- Il problema è "nascosto" e non risolto!!
- Si occupa un territorio che non sarà mai più recuperabile.
- Il conferimento in discarica ha costi ambientali (a medio e lungo termine) enormi.
- In taluni casi il problema è esaltato (la matrice cementizia può degradarsi per interazione con acidi organici/inorganici contenuti nel percolato di discarica).

## Il Problema Amianto: Discarica (2)

Il conferimento in discarica è il metodo di smaltimento preferito per via dei costi!!

Trattamento	Principio fisico	Costo
Vetrificazione Mediante plasma	Fusione con torcia al plasma a $T > 1600^{\circ}\text{C}$	$\gg 500 \text{ €/ton}$
Vetrificazione mediante forni a gas o elettrici	Fusione e vetrificazione mediante forni ad arco o a gas Litificazione Vetroceramizzazione	$> 150 \text{ €/ton}$
Ceramizzazione	Reazione a s.s. con additivi Litizzazione pirolitica Clinker	$80 - 150 \text{ €/ton}$
Dissoluzione chimica	Solubilizzazione in acidi forti o in liquidi ad alta pressione	??
Meccanochimico	Distruzione delle fibre mediante mulini ad alta energia	$80 - 150 \text{ €/ton}$

# Attacco Chimico

## Attacco Chimico

Condizioni subcritiche  $T < 200^{\circ}\text{C}$

Attacco per via  
acida

Attacco per via  
basica

L'acido fluoridrico demolisce la struttura del crisotilo idrolizzando i gruppi  $\text{MgO}$ , mentre il fluoro dovrebbe aggredire la componente "silicato" della struttura dell'amianto.

La struttura del crisotile viene rotta per successivi attacchi con soluzioni di soda concentrata. Alla fine si ha la separazione della fase solida che viene recuperata per una sua valorizzazione

# Perché l'Acqua Super Critica (ASC)

## Punti critici dell'attacco chimico subcritico

- Trasporto della soluzione acquosa all'interno dell'armatura
- Bagabilità dell'armatura
- Utilizzo di reagenti pericolosi
- Adozione di adeguate misure di prevenzione, sicurezza
- Utilizzo di materiali speciali (leghe e/o acciai inossidabili) che potrebbero incidere in modo determinante sui costi di trattamento

## Perché ASC?

- I fluidi supercritici accelerano i processi di trasporto perché hanno proprietà quali viscosità e i coefficienti di diffusione intermedie tra un gas e un liquido.
- Esisterebbe una sola fase fluida che si comporta da gas denso.
- Trattamento idrotermico del crisotilo in acqua neutra super critica
  - Permette di lavorare con un pH "neutro"
  - Eviterebbe condizioni di lavoro aggressive dal punto di vista chimico
  - Faciliterebbe la scelta dei materiali da costruzione

# Il Problema Amianto: Processi termici

---

- Un po' di chimica



*crisotilo*

*intermedio*



*intermedio*

*fosterite*

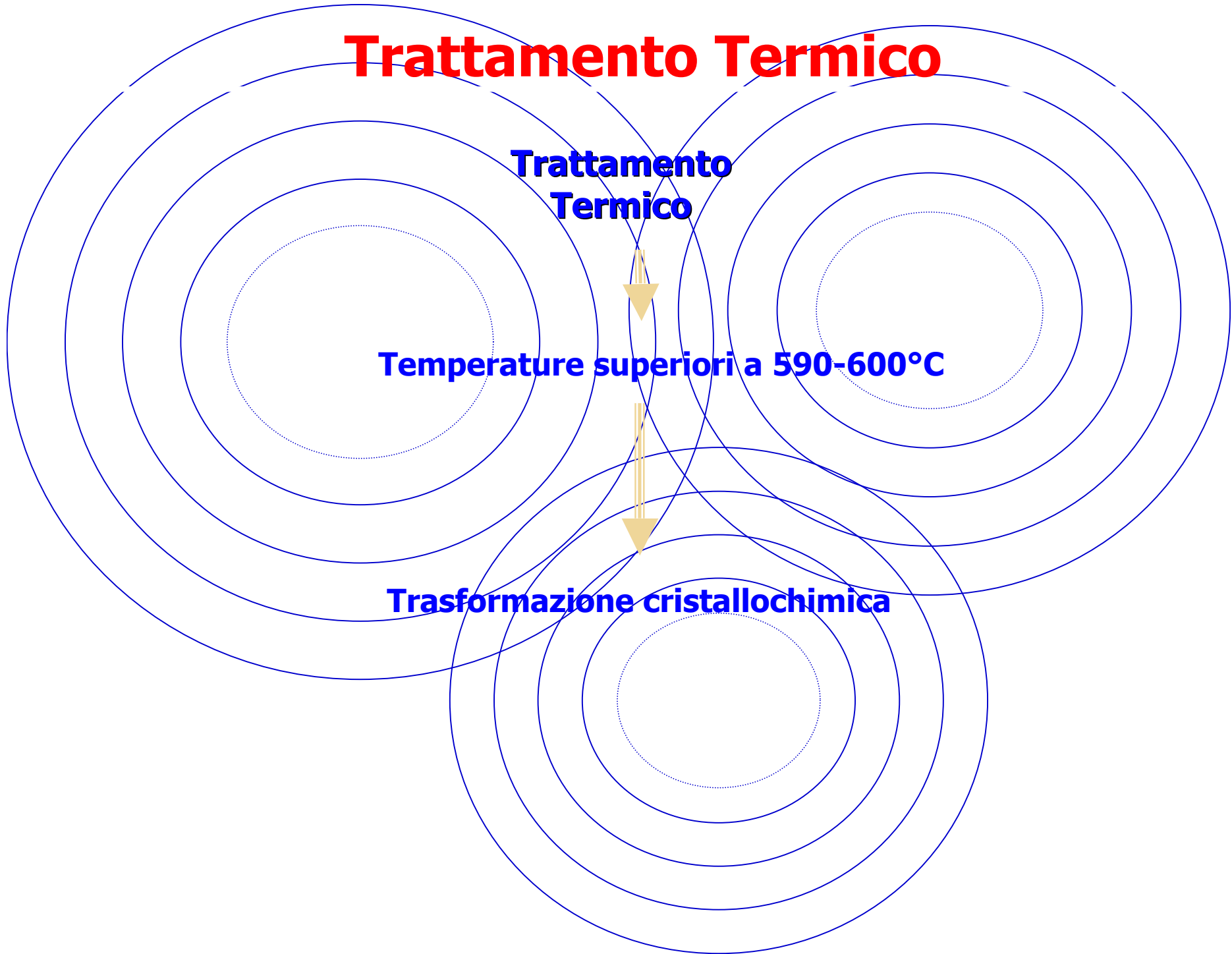


# Trattamento Termico

**Trattamento Termico**

**Temperature superiori a 590-600°C**

**Trasformazione cristallochimica**



# Perché l'Acqua Super Critica (ASC)

## Punti critici del trattamento termico

- Pre-processing del manufatto, polveri rilasciate?
- Tipologia del manufatto (friabile?)
- Tempi di lavorazione?
- Polveri
- Presenza di sostanze organiche nella matrice del manufatto porterebbe a prodotti di combustione incompleta (o di cracking)

## Perché ASC?

- Il materiale si "processa" ad umido (l'acqua fa parte dell'ambiente di reazione)
- Qualsiasi tipo di manufatto
- Il problema delle polveri non sussisterebbe in quanto l'impianto è a ciclo chiuso.
- La presenza di ossidante consentirebbe di bruciare tutti gli organici presenti nella matrice in  $\text{CO}_2$  ed  $\text{H}_2\text{O}$ .

# Impianto Pilota Sperimentale

---

- Una pompa preleva la soluzione da un serbatoio
- L'acqua viene portata in condizioni supercritiche in uno scambiatore a serpentino immerso nel forno elettrico a letto fluidizzato. Esso opera fino 800°C.
- Il fluido supercritico è pressurizzato (oltre i 25 MPa) prima di entrare nel reattore (autoclave)
- Una microvalvola a spillo, posta a valle dello scambiatore di raffreddamento, permette il controllo della pressione.
- Il reattore è facilmente estraibile dal forno e separabile dal resto del circuito, è caricato con un quantitativo noto di RCA.
- Il fluido supercritico in uscita dal reattore è raffreddato alla temperatura ambiente in uno scambiatore di calore.
- La soluzione condensata viene raccolta a valle del filtro a cartuccia (porosità 0,1 $\mu$ m), impiegato per trattenere eventuali materiali solidi trascinati dalla zona di reazione.

# Condizioni Operative delle Prove Sperimentali

---

**Le prove sono state condotte in modalità di flusso semicontinuo:**

- continuo rispetto all'acqua
- discontinuo rispetto alla fase solida.

**Il solido, durante la fase di caricamento nel reattore, è stato trattato e movimentato a umido**

**Questo processo di trattamento è stato provato su:**

- coperta ignifuga; cartoamianto (brevetto con CESI, 2003);
- Eternit, materiali antifrizione e amianto spruzzato (nuovo).

**Portata della soluzione acquosa entrante:** 9 cc/min;

**Temperatura del forno:** 650°C;

**Quantità iniziale di solido:** 1,22 g

**Pressione di esercizio:** 27 MPa.

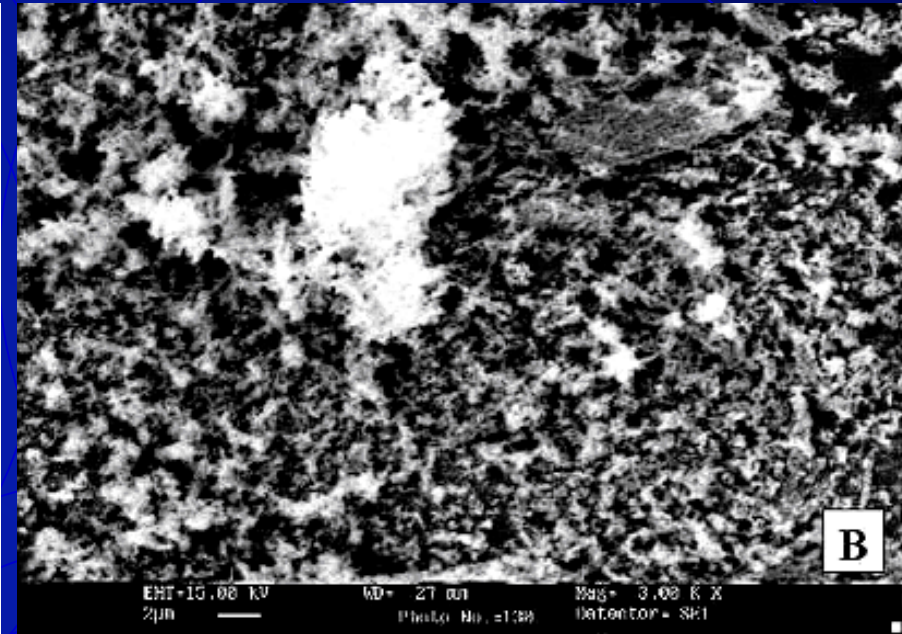
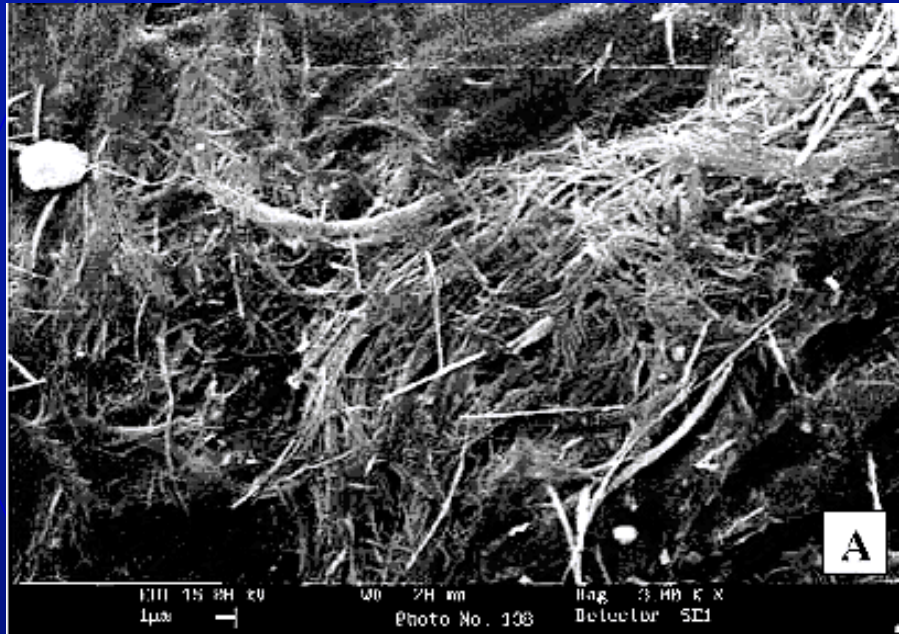
# Analisi

---

- I campioni solidi, prima e dopo il trattamento, sono stati caratterizzati utilizzando:
  - la tecnica **SEM** (*scanning electron microscopy*) che, per l'elevato potere risolutivo, consente di rilevare anche una minima presenza di fibre;
  - l'analisi chimica (qualitativa) degli elementi contenuti nei campioni solidi è stata eseguita utilizzando una microsonda a raggi X (EDS: *emission diffraction spectrum*);
  - l'analisi cristallografica con la DRX (diffrattometria a raggi X).
- La soluzione acquosa raccolta in uscita dal reattore è stata analizzata con la tecnica ICP al plasma per determinare la presenza di ioni silicio, magnesio e, quando necessario, calcio.

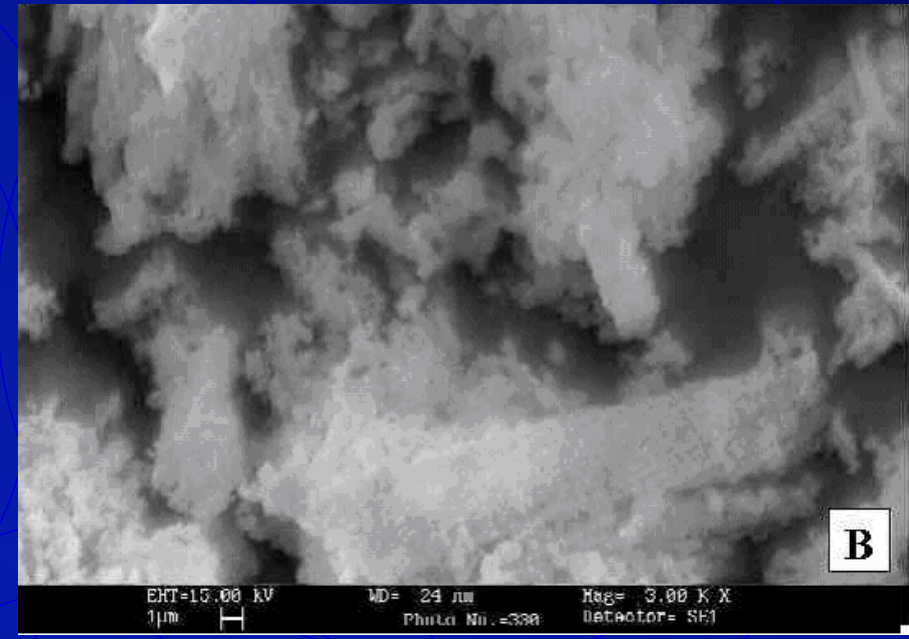
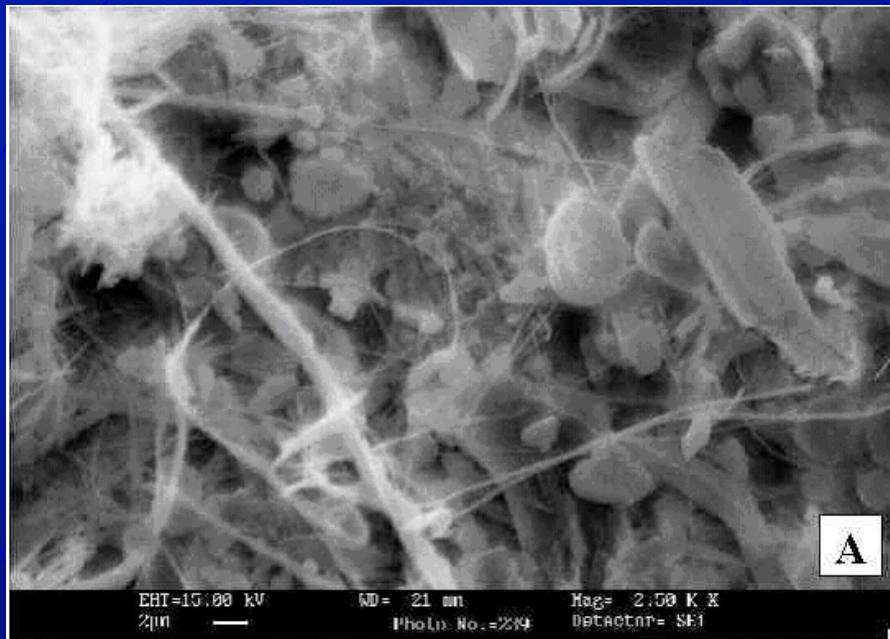


# Coperta Ignifuga



- SEM: prima (A) e dopo (B) il trattamento con acqua supercritica a ingrandimenti 3000x
- L'analisi cristallografica (DRX) indica che i campioni sono costituiti da un'unica fase solida:
  - prima (A) è caratteristico dell'amianto crisotilo
  - dopo (B) il trattamento è forsterite.

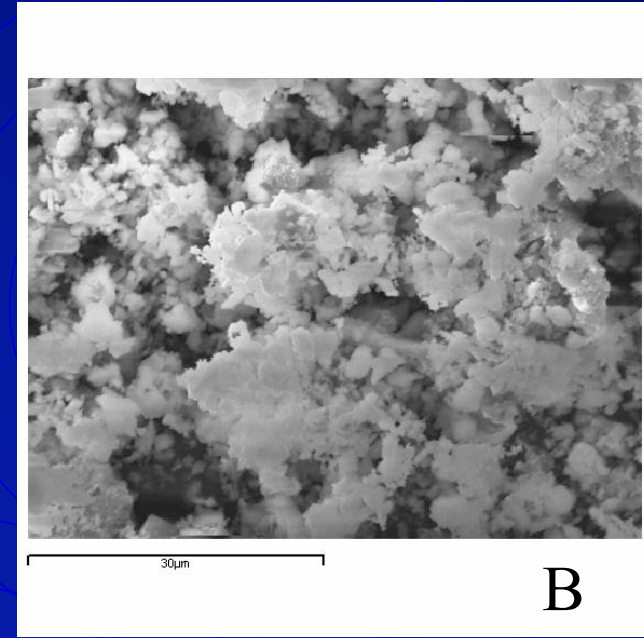
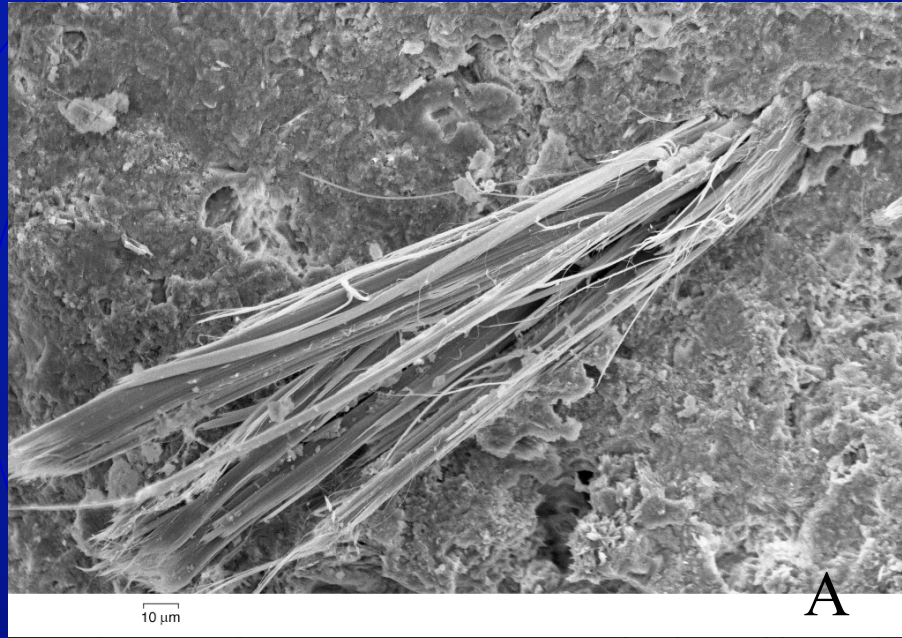
# Carto-Amianto



- SEM: prima (A) e dopo (B) il trattamento con acqua supercritica a ingrandimenti 3000x
- L'analisi cristallografica (DRX) indica che i campioni sono costituiti da un'unica fase solida:
  - prima (A) è caratteristico da calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) e da fibre di amianto crisotilo
  - dopo (B) il trattamento c'è un'unica fase cristallina la monticellite ( $\text{MgCaSiO}_4$ ).

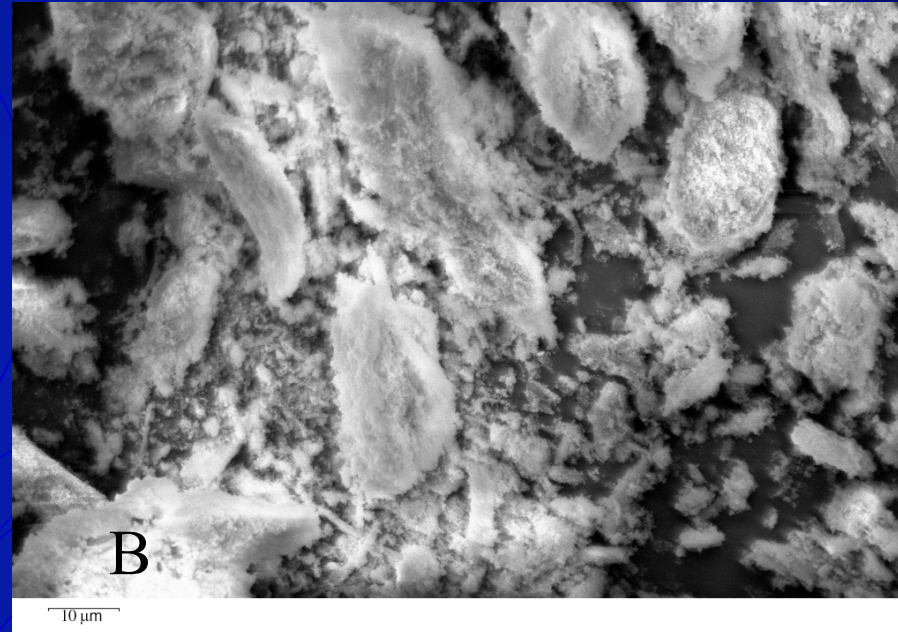
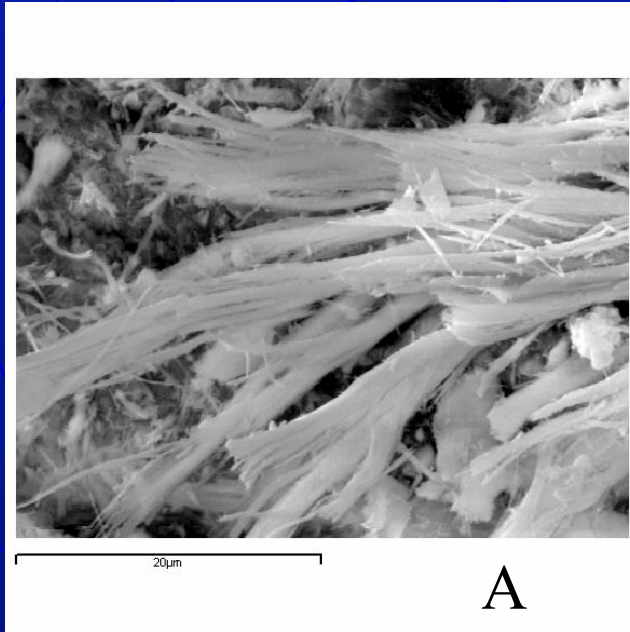


# Campione di Eternit



- SEM: (A): eternit, (B) dopo il trattamento idrotermico con acqua supercritica.
- XRD: (A): crisotilo e calcite; (B): silicati di calcio idrossidi

# Campione di Materiale Antifrizione

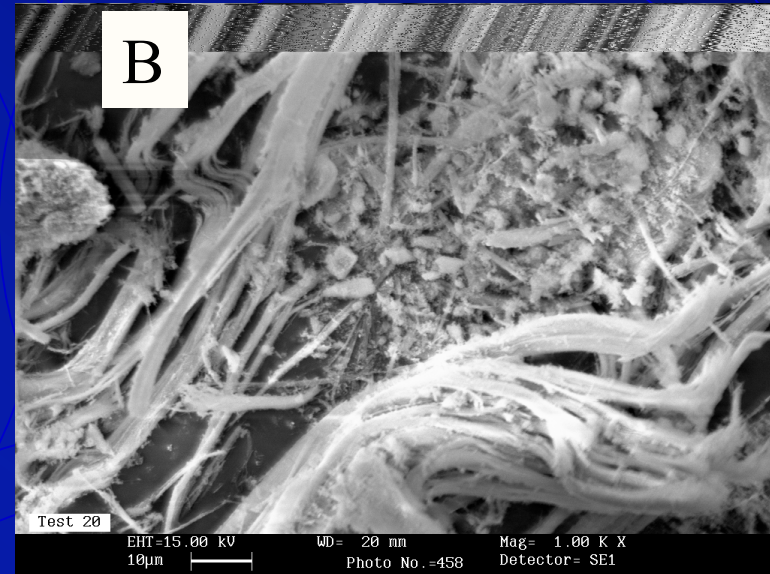
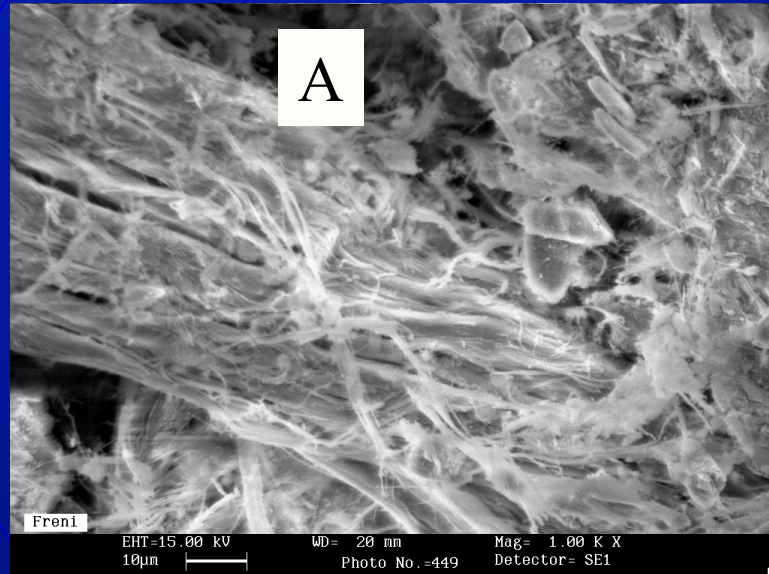


- SEM: (A): campione della frizione, (B) dopo il trattamento idrotermico con acqua supercritica contenente il 6% di acqua ossigenata.
- XRD: (A): crisotilo e forsterite; (B): forsterite e antigorite



# Campione di Materiale Antifrizione (1)

## (trattamento senza ossidante)



- SEM: (A): campione della frizione, (B) dopo il trattamento idrotermico con solo acqua supercritica.
- XRD: (A): crisotilo e forsterite; (B): forsterite e antigorite
- L'analisi DRX dopo il trattamento in acqua supercritica ha rilevato la presenza di crisotilo (il limite di rilevabilità dello strumento è pari al 2%).



# Campione di Materiale Antifrizione (2)

## (trattamento senza ossidante)

---

- Il trattamento con solo acqua supercritica (senza ossidante) porta alla formazione di un residuo carbonioso compatto che "ingloba" le fibre prevenendone la completa distruzione.



*La presenza dell'ossidante gioca un ruolo importante nel trattamento idrotermico di manufatti contenenti amianto in matrice organica.*

# Campione di Amianto Spruzzato

---

A

B

- SEM: (A): campione di amianto spruzzato, (B) dopo il trattamento idrotermico con acqua supercritica contenente il 6% di acqua ossigenata.
- XRD: (A): antofillite e calcite; (B): andradite ed ematite.

# Conclusioni (1)

---

- Lo smaltimento in discarica non rappresenta certo una opzione sostenibile.
- Il conferimento in discarica appare economicamente sostenibile, perché costa poco, ma in realtà ha costi ambientali e sociali significativi che non vengono considerati nella definizione del costo di smaltimento.
- La mancanza di impianti di trattamento inertizzanti è strettamente legata all'ostilità diffusa che trae origine dalla **mancanza di conoscenza** delle tecnologie e alle "**lobby**" delle discariche.
- Le discariche sono il vero problema ambientale da risolvere.
- L'impianto di trattamento idrotermico in acqua supercritica presenta vantaggi rispetto ai trattamenti termici, in quanto richiede impianti più compatti e chiusi, e quindi intrinsecamente più sicuri.

## Conclusioni (2)

---

- Gli impianti di trasformazione (trattamenti di inertizzazione) cristallografica dell'amianto:
  - **NON sono più impattanti** di un normale impianto industriale;
  - **generano materie riutilizzabili e non determinano uno stato di inquinamento permanente;**
  - **possono essere mobili (inertizzazione idrotermica in acqua supercritica);**
  - **sono facilmente bonificabili.**



# Conclusioni (3)

## Vantaggi rispetto ai processi termici:

- trattamento a umido e in un sistema chiuso (si evitano i problemi connessi con la manipolazione a secco di manufatti RCA);
- presenta una maggiore efficienza di trattamento (il problema è risolto in modo definitivo e sicuro);
- un maggiore potenziale di riduzione dei costi di trattamento per le più "basse" temperature di lavoro ( $T < 650^{\circ}\text{C}$ );
- tempi di trattamento inferiori a quelli dei tradizionali processi termici a secco (tempo di contatto inferiore alle 3 ore contro le 24 ore di lavoro richieste per altri processi di inertizzazione (termici a secco o chimici);
- la possibilità di attuare un efficace recupero energetico;
- in presenza di matrici a base organica i prodotti gassosi sono costituiti da  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ :
  - la combustione della frazione organica è completa e non porta alla formazione di sostanze tossico nocive);
  - non esiste la necessità di prevedere un sistema di trattamento fumi a valle del reattore (a differenza di quello che accade per i trattamenti al plasma o a secco);
- grazie all'assenza dei bruciatori e dei ventilatori dell'aria comburente, le emissioni sonore sono quasi totalmente assenti.



# Conclusioni (4)

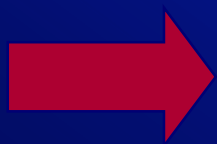
---

- grazie all'assenza dei bruciatori e dei ventilatori dell'aria comburente, le emissioni sonore sono quasi totalmente assenti.

## Rispetto ad altri processi basati sull'attacco chimico:

- l'assenza di reagenti chimici o altre sostanze a elevato impatto ambientale (per esempio, acido fluoridrico);
- processo sicuro sia dal punto di vista dell'esercizio sia dal punto di vista dell'impatto ambientale;
- processo ecosostenibile, infatti, l'acqua rappresenta l'unico "reagente necessario per il processo di inertizzazione.

*Il prodotto finale è un solido inerte (sostanzialmente silicati di Mg e/o Ca)*



*In accordo con il DM n. 248 del 29/07/2004 (All. A, capitolo 6, Tab. B), il materiale può essere riutilizzato come materia prima (con un valore di mercato di circa 20 Euro/ton).*