



Amianto, killer per l'uomo e per l'ambiente: dalle misure di protezione agli strumenti di smaltimento, come corollario imprescindibile per la tutela dei diritti fondamentali della persona umana nella sua proiezione individuale e collettiva.

- di Ezio Bonanni -

- a. Premessa.
- b. Rischio morbigeno per esposizione ad amianto.
 - b.1 Aspetti biomedico-ambientali: Effetto della reiterazione dell'esposizione alle concentrazioni definite dai limiti di legge $1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 6$ fibrille in una settimana: effetto di sommatoria.
 - b.2. Fibrille inalate od ingerite - Assorbimento attraverso la mucosa delle vie respiratorie o del tubo gastroenterico
 - b.3. Recircolazione delle fibrille nel torrente sanguigno
 - b.4. Diffusione in tutti i tessuti ed organi - Localizzazione in qualunque tessuto.
 - b.5. Reazione flogistica di tipo cronico nel punto di localizzazione, con formazione dei corpuscoli dell'asbesto (microgranulomi - Reperto autoptico di corpuscoli dell'asbesto in molti organi del corpo umano.
 - b.6. Cancerogenesi a carico delle membrane sierose: pleura, pericardio, peritoneo, tonaca vaginale del testicolo, coi rispettivi mesoteliomi.
 - b.7. Rischio ambientale di esposizione: limite soglia = 0,1 fibra / ml d'aria (DM 6/9/94 ed artt. 24 e 31 del D.Lgs. 277/91).
 - b.8. Meccanismo della cancerogenesi.
 - b.9. Potenziamnto tossicologico $1 + 1 + 1 = 9, 10$ e piu'.
 - b.10. Conclusioni.
- c. L'evoluzione normativa in materia di rifiuti di amianto.
 - c.1. Le premesse.
 - c.2. Le definizioni normative.
 - c.3. Le disposizioni comunitarie e le norme di recepimento.
 - c.4. Carenze e/o assenza di soluzioni alternative allo smaltimento in discarica dell'amianto nel nostro Paese.
 - c.5. Decreto ministeriale 29 luglio 2004, n. 248: Regolamento relativo alla determinazione e disciplina delle attività di recupero dei prodotti e beni di amianto e contenenti amianto.
 - c.6. Gestione dei rifiuti contenenti amianto.
 - c.7. Circa il trasporto e il conferimento in discarica (metodo tradizionale).
 - c.8. Il conferimento in discarica.
 - c.9. Trattamento dei rifiuti contenenti amianto senza modificazione della struttura microcristallina.
- d. I trattamenti che modificano completamente la struttura microcristallina dell'amianto e che ne annullano la pericolosità.
 - d.1. Premesse.
 - d.2. I diversi processi finalizzati alla trasformazione cristallo-chimica dell'amianto contenuto nei rifiuti.
 - d.3. La dispersione delle fibre e dei materiali in amianto nell'ambiente.
 - d.4. I trattamenti a freddo.
 - d.5. Le tecniche di consolidamento.
 - d.6. Trattamento di immobilizzazione.
 - d.7. I procedimenti chimici.
 - d.7.1. Premessa.
 - d.7.2. Il procedimento Tresenerie.
 - d.7.3. Il procedimento Solvas.
 - d.7.4. Tecnica di attacco chimico mediante l'utilizzo di HF brevettata in Italia.
 - d.7.5. Gli altri studi alternativi di processi di soluzione chimica degli MCA.
 - d.7.6. Vetrificazione per fusione.
 - d.7.7. Gli altri processi di vetrificazione.
 - d.8. I trattamenti di conversione termica.
 - d.8.1. Premessa.
 - d.8.2. Il processo Asbestex.
 - d.8.3. Il processo Asbestos Conversion System.
 - d.8.4. Il processo di ceramizzazione Cordiam.
- e. Processi per la produzione di materiali sostitutivi dell'amianto.
 - e.1. Brevetto MI 98A 002194
 - e.2. Smaltimento di amianto mediante la produzione di clinker.
- f. I processi metallurgici.
 - f.1. Premessa.
 - f.2. Il processo Magram.

f.3. Il processo Magnola.

g. Trasformazione mecano-chimica.

g.1. Premessa.

g.2. Il trattamento meccanico-chimico dei rifiuti di amianto.

h. La procedura attraverso la quale si certifica l'avvenuta trasformazione dell'amianto.

i. I processi chimico-fisici che portano alla trasformazione completa dei rifiuti contenenti amianto in prodotti non nocivi con possibilità di riutilizzo.

j. Omologazione dei materiali ottenuti dal trattamento dell'amianto.

k. Conclusioni.

a. Premessa.

I rifiuti di amianto sono tra i più nocivi, e per quantità i più consistenti tra quelli tossico-nocivi, di cui l'85% è costituito da cemento-amianto, e il resto da materiale friabile, e sono secondi soltanto ai rifiuti solidi urbani.

Sono in corso studi sugli effetti del loro smaltimento in discarica, sia per il breve che per il lungo termine, attesa la loro capacità di ledere fortemente l'ambiente e l'ecosistema, con costi ben oltre quelli economici essi stessi consistenti.

Ecco perché al di là dei metodi tradizionali, riteniamo si debba privilegiare l'opzione che conduce alla trasformazione totale, cristallografica, dell'amianto, tale da renderlo altro e da potere utilizzare come materia prima, perché con analoghe caratteristiche merceologiche, tali da poter essere impiegati e commercializzati, e potersi così trasformare da problema a risorsa, preservando l'ambiente e la salute umana.

b. Rischio morbigeno per esposizione ad amianto¹.

b.1 Aspetti biomedico-ambientali: Effetto della reiterazione dell'esposizione alle concentrazioni definite dai limiti di legge $1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 6$ fibrille in una settimana: effetto di sommatoria.

L'amianto, detto anche asbesto, è un minerale costituito sostanzialmente da silicati di varia composizione chimica. Questa diversità condiziona sia la forma delle fibrille (strutture con una lunghezza tre volte maggiore del diametro), sia la loro denominazione, sia ancora la loro nocività per l'uomo e per animali sinantropici, come il cane. L'azione patogena, oltre ad una prima fase prodromica irritativo-flogistica sulle

¹ Riferimenti Bibliografici: Battista G., Belli S., Comba P., Fiumalbi C., Grignoli M., Loi F., Orsi D., Paredes I. *Mortality due to asbestos-related causes among railway carriage construction and repair workers*. Mortalità dovuta a cause correlate all'asbesto tra i lavoratori della costruzione di vetture ferroviarie e della loro riparazione. *Occup Med (Lond)*. 49, 536-539, 1999; Becker N., Berger J., Bolm-Audorf U., *Asbestos exposure and malignant lymphomas - a review of the epidemiological literature*. Esposizione ad asbesto e linfomi maligni - una rassegna della letteratura epidemiologica. *Int Arch Occup Environ Health*. 74, 459-469, 2001. *Review*; Cotruvo J. A., *COMMENTARY: Asbestos in Drinking Water: A Status Report*; COMMENTARIO: Asbesto nell'acqua da bere: un rapporto sullo stato dell'arte. *Environ. Health Perspect*. 53, 181-183, 1983; T.J. Delahunty & D. Hollander, *Toxic effect on rat small intestine of chronic administration of asbestos in drinking water*. Effetto nocivo sull'intestino tenue del ratto da somministrazione cronica di asbesto nell'acqua da bere. *Toxicol Letters*, 39, 205-209, 1987; Donham K. J., Berg J. W., Will L. A., Leininger J. R., *The Effects of Long-Term Ingestion of Asbestos on the Colon of F344 Rats*, Gli effetti dell'ingestione prolungata di asbesto sul colon di ratti F344 *Cancer* 45, 1073-1084, 1980; Hallenbeck W.H., Hesse C.S., *A review of the health effects of ingested asbestos*, Una rassegna degli effetti sulla salute dell'asbesto ingerito *Rev. Environ. Health* 2, 157-166, 1977; Kagan E., Jacobson R.J., *Lymphoid and plasma cell malignancies: asbestos-related disorders of long latency*. Tumori maligni di cellule linfoidi e di plasmacellule: disturbi correlati all'asbesto con una lunga latenza. *Am J Clin Pathol* 80, 14-20, 1983; Kagan E., Jacobson R.J., Yeung K.Y., Haidak D.J., Nachani G.H. *Asbestos-associated neoplasms of B cell lineage*. Neoplasie asbesto-correlate della linea cellulare B. *Am J Med* 67, 325-330, 1979; Pepelko W. E., *Effect of exposure route on potency of carcinogens*. Effetto della via di esposizione sulla potenza dei cancerogeni *Regulat. Toxicol. Pharmacol.*, 13, 3-17, 1991; Waxweiler R., Robinson C., *Asbestos and non-Hodgkin's lymphoma*. Asbesto e linfoma non-Hodgkin. *Lancet*. 1(8317), 189-190, 1983.

strutture dell'organismo di primo impatto, implica effetti cancerogeni a carico di diversi tipi cellulari, tessutali, e d'organo. L'azione cancerogena dell'amianto era già nota, per molti versi e ad opera della ricerca biomedica, quasi contemporaneamente alla sua introduzione come materia prima in parecchie tecnologie richieste dalla rivoluzione industriale che fu attuata a cavallo tra XIX e XX secolo. Successivamente sono intervenuti provvedimenti normativi allo scopo di prevenire l'esposizione a rischio e per proteggere la salute della collettività (lavoratori e popolazione generale). In molti paesi il minerale è stato bandito dal tardo XX secolo (anni 1980-1990). Parecchi altri paesi continuano ad estrarre il minerale naturale, a lavorarlo, e a venderlo. Oggigiorno, i limiti di legge prescritti sembrano dare sicurezza agli esposti, ed a chi controlla la loro salute, ma generalmente non si tiene conto che anche pochissime fibrille assunte quotidianamente, col tempo, si sommano nel nostro organismo, raggiungendo il carico (*body burden* dei ricercatori anglosassoni) di rottura del *tiro-alla-fune* tra cancerogeni e difese dell'organismo contro il cancro. A questo proposito, già fin d'ora, è utile rammentare il monito di René Truhaut, secondo cui non esistono limiti ammissibili per i cancerogeni, ciò significa: “*rischio zero*”.

b.2. Fibrille inalate od ingerite - Assorbimento attraverso la mucosa delle vie respiratorie o del tubo gastroenterico

Le fibrille di amianto possono raggiungere l'individuo esposto sia dalla cava del minerale, sia dalla materia prima, sia dal manufatto durante l'uso, sia dallo stesso manufatto dopo l'esaurimento della vita di impiego, quando è in disuso e in via di smaltimento. Vale a dire il rischio patogeno ci può essere “*prima, durante, dopo*” il suo uso. È ragionevole condividere l'aforisma di L. Mutti (Primario ASL 11 VC) “*Dobbiamo giungere al rischio zero perché l'unica fibra di amianto innocua è quella che noi non respiriamo*”. Ma non basta non inalare fibrille di amianto, perchè molte altre se ne possono ingerire, con le bevande e anche coi cibi².

b.3. Recircolazione delle fibrille nel torrente sanguigno

² La ricerca biomedica, sia quella sperimentale, sia quella epidemiologica osservazionale, ha dimostrato la nocività dell'amianto ingerito. La pubblicazione più significativa è quella di Hallenbeck & Hesse (1977) secondo la quale gli studi dell'ingestione negli animali e delle autopsie umane suggeriscono che le fibre di asbesto possono penetrare nella parete intestinale e migrare verso altre localizzazioni nell'organismo. Poi Donham et al. (1980) hanno evidenziato l'insorgenza di un mesotelioma maligno, del tipo provocato da asbesto iniettato intraperitoneo, nel ratto alimentato con dieta contenente asbesto; in base all'evidenza della penetrazione delle fibre di asbesto nei tessuti del colon, indagini di microscopia elettronica, questi autori concludono che l'asbesto ingerito non è innocuo per il colon, né per distretti dell'organismo in cui si localizzano le fibrille *killer*. Infine Cotruvo (1983) ha riferito che l'evidenza epidemiologica del rischio da ingestione di acqua contenente fibre di asbesto non è convincente, tuttavia il cancro gastrointestinale di origine occupazionale può indicare un rischio da ingestione. Secondo Delahunty e Hollander (1987) la somministrazione cronica di fibre di asbesto nell'acqua da bere nel ratto porta alla diminuzione della capacità della parete intestinale di assorbire zuccheri scarsamente metabolizzabili impiegati come modello sperimentale; tale fenomeno dimostra un danno funzionale diretto sulla parete intestinale dovuto all'asbesto ingerito. Pepelko (1991) ha studiato le differenze del potere cancerogeno di alcuni agenti morbigeni, nel ratto e nel topo, dipendenti dalle vie di somministrazione, inalatoria o gastrointestinale; nel ratto, differenze nella potenza superiori a 10 volte furono trovate per l'asbesto, il cloruro di vinile, e l'idrazina. Nel caso dell'asbesto, l'agente si trovava comunemente sotto forma di materiale particellare relativamente insolubile. Secondo questo autore, la maggiore potenza cancerogena espressa dalla somministrazione per via inalatoria, rispetto a quella orale, è verosimilmente dovuta alla maggiore lunghezza del tempo di soggiorno negli alveoli polmonari rispetto a quello nell'intestino; ciò favorirebbe una maggiore biodisponibilità con una maggiore azione morbigena. Parallelamente, nel corso degli ultimi decenni, altri autori hanno riferito risultati negativi per la cancerogenicità dell'asbesto ingerito.

Una volta inalate od ingerite, le fibrille raggiungono l'epitelio della mucosa dell'apparato respiratorio o dell'apparato gastroenterico, rispettivamente. Non è difficile, per gli intrusi *killer*, superare queste labili barriere per entrare nei capillari sottomucosi, poi nel sistema venulare, quindi in quello venoso centripeto, con l'interposizione o meno del piccolo circolo polmonare, caratterizzato dal fatto che il circolo venoso trasporta sangue ossigenato, al contrario del grande circolo. Infine il cuore provvede a redistribuire il tutto in tutto l'organismo.

b.4. Diffusione in tutti i tessuti ed organi - Localizzazione in qualunque tessuto.

A seguito di questa diffusione ubiquitaria, quasi biologicamente "*ecumenica*", non c'è un tessuto, un organo, che possa ritenersi indenne di localizzazione delle fibrille *killer*. Dal momento in cui un tessuto bersaglio si trova ad ospitare una o più fibrille esso innesca una sequela di eventi reattivi. Il tipo e l'entità di questi fenomeni sono condizionati dalla costituzione del tessuto stesso, o meglio di quella parte di esso in cui si sono annidate le fibrille. È comprensibile che tale funzione di risposta sia svolta dal tessuto connettivo che circonda il vaso di afferenza, oppure da quello che fa da impalcatura stromale di un organo parenchimale. Infatti le cellule attrici della risposta flogistica (infiammatoria) sono prevalentemente quelle connettivali. La reazione infiammatoria non è di tipo acuto, in quanto le fibrille di amianto, nel superare le barriere delle mucose interessate, si sono lasciate alle spalle i batteri eventualmente concomitanti, gli agenti flogogeni che avrebbero richiamato i leucociti PMN (polimorfonucleati) per formare il secreto infiammatorio purulento. Quindi non si tratta di un foruncolo microscopico, bensì di un microgranuloma, classica espressione di una flogosi di tipo cronico, costituito da una corteccia di cellule linfocitarie (leucociti ematici mononucleati), cellule connettivali e da fibre connettivali, che tutte insieme inglobano la fibrilla d'amianto. Si è venuta così formando un'entità reattiva detta "*corpuscolo dell'asbesto*" nella quale il *core* è destinato a durare a lungo.

b.5. Reazione flogistica di tipo cronico nel punto di localizzazione, con formazione dei corpuscoli dell'asbesto (microgranulomi - Reperto autoptico di corpuscoli dell'asbesto in molti organi del corpo umano.

La letteratura scientifica riporta il ritrovamento, come reperto autoptico a seguito di autopsie di lavoratori esposti all'amianto nei seguenti tessuti: cervello, tiroide, polmone, fegato, pancreas, rene, cuore, milza, surrene, prostata. Questa distribuzione testimonia la diffusione delle fibrille di amianto in tutto il circolo sanguigno ed in tutti gli organi che esso irrorava.

b.6. Cancerogenesi a carico delle membrane sierose: pleura, pericardio, peritoneo, tonaca vaginale del testicolo, coi rispettivi mesoteliomi.

Un altro aspetto peculiare che riguarda la localizzazione delle fibrille di amianto a distanza dal punto di ingresso nell'organismo (nel circolo sanguigno) trova conferma dalla localizzazione di una specifica e grave forma di neoplasia maligna di membrane sierose particolarmente suscettibili di tale tipo di cancerogenesi. Si tratta di mesoteliomi che colpiscono la pleura (sierosa che avvolge il polmone), il pericardio (che avvolge il cuore), il peritoneo (sierosa che avvolge tutti i tratti del tubo gastroenterico, tenue e crasso) e la tonaca vaginale del testicolo, che è una derivazione embrionaria del peritoneo. Fin che si tratta della pleura, la sierosa più frequentemente colpita dal mesotelioma, si potrebbe considerare in modo ingannevole questa maggiore frequenza di morbilità come conseguenza della vicinanza della sierosa con la via più comune di ingresso dell'amianto: le coane (narici). Al contrario, le fibrille *killer* aggrediscono i tessuti bersaglio raggiungendoli alle spalle, cioè attraverso il circolo. La lunghezza del tragitto da superare, chilometri di capillari, venule, arteriole, vene, arterie, interposta tra narici e/o bocca da un lato e sierosa colpita, dall'altro, non è certo una difficoltà insormontabile. Infatti, dobbiamo considerare che il tempo di circolo si aggira normalmente attorno a pochi minuti secondi. Tra l'altro, la letteratura scientifica biomedica segnala casi clinici che si pongono fuori dai novero dei fenomeni morbosi più frequentemente descritti come tipici all'amianto. Si tratta dei danni diretti sulla molecola del DNA nucleare dei leucociti circolanti di lavoratori esposti, e di mesotelioma primitivo dell'ovaio in lavoratrici esposte ad amianto, oltre a casi di carcinoma ovarico in operaie che, nelle loro mansioni, avevano usato talco contaminato con il minerale *killer*. Queste indagini riferiscono casistiche rare, generalmente imprevedibili, ma dimostrano in un modo ancora più completo la pericolosità ubiquitaria dell'amianto per la salute umana.

b.7. Rischio ambientale di esposizione: limite soglia = 0,1 fibra / ml d'aria (DM 6/9/94 ed artt. 24 e 31 del D.Lgs. 277/91).

Il nostro ordinamento giuridico include un provvedimento legislativo che configura un limite soglia di concentrazione di fibrille d'amianto nell'aria in ambiente occupazionale, quale livello di riferimento quale prova di responsabilità, o meno. Tale limite è stato localizzato dal DM 6 settembre 1994, e dagli artt. 24 e 31 del D.Lgs. 277/91, in 100 fibrille per litro d'aria, anche con riferimento alle condizioni storiche - pregresse dell'ambiente di lavoro. È intuitivo come sia estremamente difficile, "contare" strumentalmente, e l'unica valutazione può essere quella presuntiva che si fonda sui parametri sanciti dal successivo D.M. 27.10.04, all'art. 3, e cioè dalla letteratura scientifica, dai casi analoghi, dagli studi epidemiologici etc..

b.8. Meccanismo della cancerogenesi.

Voytek *et al.* (1990) hanno riferito con chiarezza il meccanismo dell'azione cancerogena delle fibrille di amianto. Secondo questi autori, le fibrille del minerale localizzate nei diversi tessuti dell'organismo vanno incontro ad un'alterazione metabolica che porta alla formazione di amianto-eossido, la molecola che è il cancerogeno finale, responsabile della lesione della molecola del DNA. Tutto questo avviene quando la molecola bersaglio è il DNA dei nuclei dei leucociti circolanti, delle cellule parenchimali dell'ovaio, delle cellule delle sierose: pleurica, pericardica, peritoneale, o della tonaca vaginale del testicolo. Questo fenomeno di trasformazione di un pre-cancerogeno, l'amianto tal quale, in cancerogeno vero e proprio, l'amianto-eossido, è favorito dallo squilibrio della bilancia perossidativa dei tessuti in senso pro-ossidante. Quando i fattori pro-ossidanti sopraffanno quelli anti-ossidanti si verifica l'intervento di un agente patogeno che, di per se stesso insufficiente a causare patologia, agisce quale concausa efficace che non va trascurata. Infatti, a questo proposito, si può evocare l'immagine di una pistola come arma di un omicidio. Non è sufficiente l'arma con il proiettile in canna, ma occorrono che la sicura sia disattivata e che un dito prema il grilletto, sebbene questi due elementi (concausa), senza i primi, non bastino per uccidere, ma sono cofattori efficaci perché l'arma uccida.

Anche per l'amianto, per esso l'amianto eossido, il meccanismo della cancerogenesi parte dalla prima tappa, comune a tutti i cancerogeni: l'alterazione del DNA. La lesione primaria, se non eccede in quantità e durata i meccanismi di difesa dell'organismo, può anche essere riparata, in prima battuta grazie agli enzimi riparatori specifici, in seconda istanza, dal sistema immunitario che rigetta le cellule arrivate ad essere cancerose. Si è visto che le fibrille del minerale nocivo possono localizzarsi in qualunque distretto dell'organismo, e dovunque possono danneggiare la molecola del DNA. Quindi, semplicisticamente, potremmo anche aspettarci un tipo di tumore uniformemente monotono in tutte le sedi; al contrario, ogni tipo di tessuto risponde allo stimolo morboso a modo suo, condizionando non solo le caratteristiche morfologiche della neoplasia, ma anche il tempo di latenza, la frequenza - o prevalenza - in una popolazione esposta, la velocità di crescita, in breve, la storia naturale dell'affezione maligna. Tutto ciò poi si integra anche con le caratteristiche metaboliche dei tessuti dell'individuo colpito dalla *noxa* morbigena: vale a dire, l'età del soggetto, il suo stato nutrizionale, soprattutto l'equilibrio della bilancia perossidativa, oltre alla presenza od assenza di altre esposizioni nocive. Queste condizioni biologiche, attraverso il contributo del sinergismo e del potenziamento, possono stare alla base dell'estrema variabilità delle risposte patologiche al medesimo agente nocivo, che si affiancano alle patologie classiche asbesto-correlate, qual è il mesotelioma pleurico.

Il cumulo di tutte queste considerazioni ed informazioni potrebbe costituire un patrimonio unico e prezioso, nelle mani dei sanitari più o meno “competenti” *ope legis*, chiamati ad esercitare sul paziente – o sul soggetto ancora solamente esposto alle fibrille killer – la cosiddetta sorveglianza sanitaria. Infatti, la salute del Nostro avrebbe bisogno di tanta scienza e di altrettanta coscienza.

A proposito di patologia amianto-correlata di tessuti dell'organismo diversi dalle sierose (pleura, pericardio, peritoneo, ecc.) la letteratura scientifica citata in precedenza ha dato un'idea della partecipazione anche dell'apparato gastroenterico. Altre pubblicazioni recenti, reperibili liberamente nelle fonti bibliografiche, hanno descritto la partecipazione dei tessuti linfemopoietici alla funzione di bersaglio del cancerogeno amianto, basate su ricerche sperimentali e/o epidemiologiche osservative. Si tratta di: Kagan (1979) - leucemia linfocitaria cronica, mieloma IgA e mieloma IgG, Waxweiler e Robinson (1983) - linfoma non-Hodgkin, Kagan e Jacobson (1983) - leucemia cronica linfocitaria, mieloma IgG e mieloma IgA, Battista *et al.* (1999) – mieloma multiplo, e Becker *et al.* (2001) – linfomi maligni. In termini concreti, ciò significa che, almeno dal 1979 in poi, non sarebbe stato più possibile ascrivere all'esposizione ad amianto il solo mesotelioma pleurico, ma anche ad una moltitudine di altre affezioni letali: letteratura scientifica *docet*.

b.9. Potenziamiento tossicologico 1 + 1 + 1 = 9, 10 e piu':

La letteratura scientifica ha messo in evidenza che l'abitudine di fumare tabacco comporta un potenziamento del rischio, e della patologia amianto-correlata. Questo fenomeno trova un'espressione significativa nell'equazione che suggerisce i rapporti quantitativi degli effetti dei due agenti patogeni: Fumo di tabacco + Amianto = [10 x + 13 x] non 23 x ma 50-60 volte.

Altrettante considerazioni meritano di essere fatte a proposito di un'altra circostanza, questa volta iatrogena, che può essere considerata quale possibile concausa effettiva della patologia amianto-correlata. Si tratta di una terapia marziale attuata col proposito di curare un'anemia somministrando Fe inorganico per via parenterale: questo comporta un aumento delle specie reattive dell'ossigeno, con squilibrio della bilancia perossidativa in senso pro-ossidante. Effetti analoghi possono essere realizzati con altre pratiche iatrogene, questa volta a scopo diagnostico e non terapeutico, come l'esposizione a radiazioni ionizzanti: esse comportano un depauperamento delle difese organiche contro i cancerogeni.

b.10. Conclusioni.

È opportuno e doveroso giungere ad una trasformazione totale cristallo-chimica dell'amianto ad oggi presente al fine di evitare la dispersione aerea nell'ambiente,

ovvero l'inquinamento delle falde acquifere³, successivo al conferimento in discarica, o al loro abbandono sul suolo, non senza considerare come i materiali opportunamente trattati ormai privi di amianto sono da considerarsi equivalenti ai materiali ottenuti da materie prime, perchè con analoghe caratteristiche merceologiche, tali da poter essere impiegati e commercializzati, e potersi così trasformare da problema a risorsa.

c. L'evoluzione normativa in materia di rifiuti di amianto.

c.1. Le premesse.

Il Ministero dell'Ambiente con il D.M. 29.07.04 n. 248, ha adottato i disciplinari tecnici sulle modalità per il trasporto e il deposito dei rifiuti in amianto, sul loro trattamento, imballaggio e ricopertura nelle discariche, con descrizione delle operazioni di trattamento.

Nelle disposizioni normative legislative e regolamentari, campeggiano alcune definizioni che appare opportuno riprodurre.

c.2. Le definizioni normative.

Queste le definizioni normative:

➤ **Rifiuto:** qualsiasi sostanza ad oggetto che rientra nelle categorie riportate nell'allegato A della direttiva del Ministero dell'ambiente e tutela del territorio del 9 aprile 2002 "*Indicazioni per la corretta e piena applicazione del regolamento comunitario 2557/2001 sulle spedizioni di rifiuti ed in relazione al nuovo elenco dei rifiuti*" e di cui il detentore si disfi o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi.

➤ **Trattamenti:** i processi fisici, termici, chimici o biologici che modificano le caratteristiche dei rifiuti allo scopo di ridurre il volume o la natura pericolosa, di

³ L'inquinamento alimentare deriva in particolare dall'acqua potabile (tra 106 -107 ff/l), contaminata da fibre provenienti dalla precipitazione atmosferica, dall'erosione naturale di rocce, dai rifiuti di attività minerarie ed industriali, e dalla cessione di fibre da parte di tubature in cemento-amianto (le acque poco dure sono maggiormente aggressive). A tale proposito, è stato calcolato che le case in cui viene erogata acqua contaminata, presentano un inquinamento ambientale di fondo 10 volte maggiore delle altre; per quanto riguarda il vino, si sono registrate contaminazioni conseguenti all'utilizzo di filtri di amianto. Sul rischio morbigeno dell'amianto dell'acqua potabile, occorre richiamare: 1. Rapporteur's Report Session 5: assessment of health risk associated with exposure to non-asbestiform amphiboles including ingestion studies. Price B. Regul Toxicol Pharmacol. 2008 Oct;52(1 Suppl):S204-6. Epub 2007 Dec 10. No abstract available. PMID: 18194828 [PubMed - indexed for MEDLINE] Related citations 2. Effect of exposure route on potency of carcinogens. Pepek WE. Regul Toxicol Pharmacol. 1991 Feb;13(1):3-17. PMID: 2024044 [PubMed - indexed for MEDLINE] Related citations 3. Toxic effect on the rat small intestine of chronic administration of asbestos in drinking water. Delahunty TJ, Hollander D. Toxicol Lett. 1987 Dec;39(2-3):205-9. PMID: 3120357 [PubMed - indexed for MEDLINE] 4. Report on cancer risks associated with the ingestion of asbestos. DHHS Committee to Coordinate Environmental and Related Programs. [No authors listed] Environ Health Perspect. 1987 Jun;72:253-65. Review. PMID: 3304998 [PubMed - indexed for MEDLINE] Free PMC Article [Free text Related citations](#) 5. The combined effects of asbestos ingestion and localized X-irradiation of the colon in rats. Donham KJ, Will LA, Denman D, Leininger JR. J Environ Pathol Toxicol Oncol. 1984 Jul;5(4-5):299-308. PMID: 6520732 [PubMed - indexed for MEDLINE] 6. Asbestos in drinking water: a status report. Cotruvo JA. Environ Health Perspect. 1983 Nov;53:181-3. PMID: 6662086 [PubMed - indexed for MEDLINE] Free PMC Article [Free text Related citations](#) 7. Review of published studies on gut penetration by ingested asbestos fibers. Cook PM. Environ Health Perspect. 1983 Nov;53:121-30. PMID: 6662082 [PubMed - indexed for MEDLINE] Free PMC Article [Free text Related citations](#) 8. Review of published studies of orally administered asbestos. Condie LW. Environ Health Perspect. 1983 Nov;53:3-9. Review. PMID: 6363053 [PubMed - indexed for MEDLINE] Free PMC Article [Free text Related citations](#) 14. Characterization of three types of chrysotile asbestos after aerosolization. Pinkerton KE, Brody AR, McLaurin DA, Adkins B Jr, O'Connor RW, Pratt PC, Crapo JD. Environ Res. 1983 Jun;31(1):32-53. PMID: 6303775 [PubMed - indexed for MEDLINE] Related citations 9. Cellular ingestion, toxic effects, and lesions observed in human bronchial epithelial tissue and cells cultured with asbestos and glass fibers. Haugen A, Schafer PW, Lechner JF, Stoner GD, Trump BF, Harris CC. Int J Cancer. 1982 Sep 15;30(3):265-72. No abstract available. PMID: 7129677 [PubMed - indexed for MEDLINE] Related citations 10. Biochemical and histopathological response to chrysotile ingestion in guinea pigs. Saxena KC, Srivastava L, Dogra RK. Ind Health. 1982;20(1):19-25. No abstract available. PMID: 6279545 [PubMed - indexed for MEDLINE] Related citations 11. Health of experimental animals drinking water with and without amosite asbestos and other mineral particles. Smith WE, Hubert DD, Sobel HJ, Peters ET, Doerfler TE. J Environ Pathol Toxicol. 1980 Jun-Jul;3(5-6):277-300. PMID: 7441085 [PubMed - indexed for MEDLINE] Related citations 12. The effects of long-term ingestion of asbestos on the colon of F344 rats. Donham KJ, Berg JW, Will LA, Leininger JR. Cancer. 1980 Mar 15;45(5 Suppl):1073-84. PMID: 6244076 [PubMed - indexed for MEDLINE] Related citations 13. A preliminary study of biochemical changes in the rat small intestine following long-term ingestion of chrysotile asbestos. Jacobs R, Dodgson KS, Richards RJ. Br J Exp Pathol. 1977 Oct;58(5):541-8. PMID: 145233 [PubMed - indexed for MEDLINE] 14. A review of the health effects of ingested asbestos. Hallenbeck WH, Hesse CS. Rev Environ Health. 1977;2(3):157-66. Review. PMID: 341237 [PubMed - indexed for MEDLINE].

facilitarne il trasporto, di agevolarne il recupero o di favorirne lo smaltimento in condizioni di sicurezza.

➤ **Trattamento con modificazione totale della struttura cristallografica:** il processo che annulla la presenza di amianto, consentendone il riutilizzo come materia prima.

➤ **Stabilizzazione:** processi che modificano la pericolosità delle sostanze contenute nei rifiuti. Un rifiuto è considerato parzialmente stabilizzato se le sue componenti pericolose, che non sono state completamente trasformate in sostanza non pericolose grazie al processo di stabilizzazione, possono essere disperse nell'ambiente nel breve, medio o lungo periodo.

➤ **Riutilizzo come materia prima:** attività successiva al trattamento che modifica completamente la struttura cristallografica dell'amianto e pertanto esclusa dalla normativa sui rifiuti.

➤ **Impianto di discarica:** area adibita a smaltimento dei rifiuti mediante operazioni di deposito sul suolo o nel suolo, compresa la zona interna al luogo di produzione dei rifiuti adibita allo smaltimento dei medesimi da parte del produttore degli stessi, nonché qualsiasi area ove i rifiuti sono sottoposti a deposito temporaneo per più di un anno. Sono esclusi da tale definizione gli impianti in cui i rifiuti sono scaricati al fine di essere preparati per il successivo trasporto in un impianto di recupero, trattamento o smaltimento, e lo stoccaggio di rifiuti in attesa di recupero o trattamento per un periodo inferiore a tre anni come norma generale, o lo stoccaggio di rifiuti in attesa di smaltimento per un periodo inferiore a un anno.

c.3. Le disposizioni comunitarie e le norme di recepimento.

Il diritto comunitario è al vertice della gerarchia delle fonti, e vincola anche il Legislatore interno⁴ (conformemente alle norme di cui agli artt. 11 e 117 della Costituzione), e con la direttiva 1999/31/CE del 26.04.99, ha dettato le norme circa le modalità di ricopertura dei rifiuti contenenti amianto (di seguito RCA) nelle discariche, e ha stabilito i metodi per il controllo delle attività di trattamento di RCA, suddivisi in due categorie:

A - quelli che riducono il rilascio di fibre degli RCA, senza modificare la struttura cristallografica dell'amianto o modificando, in modo parziale: la destinazione finale di tali rifiuti trattati, che rispondano ai requisiti dell'allegato 2 del d.m. 29 luglio 2004, n. 248, è comunque lo smaltimento in discarica.

⁴ Viene definitivamente a cadere il teorema Tesaurò, che aveva sostenuto la distinzione in blocchi paralleli tra le fonti del diritto, viene meno ogni incertezza, e si delega ogni tentennamento della giurisprudenza, circa la cogenza e diretta vincolatività dei diritti contemplati nella Convenzione e nella Carta di Nizza e nelle altre fonti di diritto internazionale risultanti dalle tradizioni costituzionali comuni degli Stati membri, fanno parte del diritto dell'Unione in quanto principi generali, con quella *primauté*, nei rapporti tra privati e nei confronti degli Stati membri nell'esercizio del potere legislativo e di quello giurisdizionale. (Già in Internazionale Handelsgesellschaft, causa 11/70, Sentenza 17 dicembre 1970, *Racc.* p. 1125, punto 3; Dow Chemical Iberica, cause 97-99/87, Sentenza 17 ottobre 1989, punto 38. La Corte, su quesito pregiudiziale di un giudice austriaco, ha anche precisato che può trattarsi di atti amministrativi sia di portata generale che di portata individuale e concreta, invocando anche il principio della tutela giurisdizionale piena e completa: Ciola, causa C-224/97, Sentenza 29 aprile 1999, *Racc.* p. I-2517, punto 21 e seguenti, ed in forza delle norme di cui agli artt. 11 e 117 della Costituzione).

B - Quelli che modificano completamente la struttura cristallografica dell'amianto, facendone venir meno il rischio morbigeno, la lesione per l'ambiente e la pericolosità per l'uomo, conferendo altresì la possibilità di riutilizzare i materiali come materia prima (purché rispondano ai requisiti dell'allegato 3 del d.m. 29 luglio 2004, n. 248).

I trattamenti modificano completamente la struttura cristallina dell'impianto microcristallino facendo sì che perda la morfologia fibrosa e, con essa, le caratteristiche di pericolosità, permettendo il recupero e il totale riutilizzo del materiale.

c.4. Carenze e/o assenza di soluzioni alternative allo smaltimento in discarica dell'amianto nel nostro Paese.

Il nostro Paese è il fanalino di coda, in quanto non ha attivato soluzioni alternative allo smaltimento in discarica, per carenze di strumenti legislativi che le potessero incentivare e/o rendere possibili concretamente, e per questioni culturali, legate anche alla disinformazione.

Questi trattamenti produrrebbero benefici sia a carattere ambientale che economico, anche per le generazioni future, rimuovendo la pesante ipoteca sulla salute e sull'integrità del territorio, che rischia di far estinguere il Pianeta.

c.5. Decreto ministeriale 29 luglio 2004, n. 248: Regolamento relativo alla determinazione e disciplina delle attività di recupero dei prodotti e beni di amianto e contenenti amianto.

Con questo regolamento sono adottati i disciplinari tecnici sulle modalità per il trasporto e il deposito dei rifiuti di amianto nonché sul trattamento, sull'imballaggio e sulla ricopertura dei rifiuti medesimi nelle discariche, approvati dalla Commissione, per la valutazione dei problemi ambientali e dei rischi sanitari connessi all'impiego dell'amianto di cui all'art. 4, commi 1, della citata legge n. 257 del 1992, nella seduta plenaria del 15 gennaio 2004.

I disciplinari tecnici allegati costituiscono parte integrante del regolamento e definiscono e individuano i processi di trattamento dei rifiuti contenenti amianto, e quelli che conducono alla loro totale trasformazione cristallografica, rendono possibili il riutilizzo come materia prima.

L'allegato A del decreto ministeriale 29 luglio 2004, n. 248 integra l'allegato 1, relativo all'ammissibilità dei rifiuti di amianto o contenenti amianto, del decreto ministeriale 3 agosto 2005, recante criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica.

c.6. Gestione dei rifiuti contenenti amianto.

Le modalità tecniche con cui effettuare il deposito temporaneo devono essere disciplinate nell'ambito del piano di lavoro e/o progetto di bonifica.

Durante il deposito temporaneo e lo stoccaggio, i rifiuti contenenti amianto devono essere opportunamente raccolti e depositati separatamente da altri rifiuti di diversa natura e nel caso si abbia formazione, nello stesso luogo, di diverse tipologie di rifiuti contenenti amianto queste tipologie devono essere mantenute separate.

I decreti del Ministero della sanità 6 settembre 1994, 26 ottobre 1995 e 20 agosto 1999 contemplano le norme relative all'allontanamento dell'area di lavoro, all'utilizzo di rivestimenti incapsulanti e all'imballaggio, per i quali debbono essere adottate tutte le disposizioni e le precauzioni che vi sono enunciate, in specificazione delle norme comunitarie e costituzionali (art. 9 e art. 117 della Costituzione, in materia di tutela ambientale, ed art. 32 della Costituzione, in materia di tutela della salute) non senza obliterare le norme parificate al diritto comunitario (artt. 2 e 8 Cedu, e art. 37 della Carta di Nizza, ora a pieno titolo norme di diritto comunitario, per effetto dell'entrata in vigore della nuova formulazione dell'art. 6 del Trattato di Lisbona).

È stato istituito un comitato che cura l'albo nazionale delle imprese che ha deliberato (in data 30.03.04, n. 1) e delibera sulle norme tecniche per l'iscrizione all'albo nella categoria 10, avente ad oggetto la bonifica dei beni contenenti amianto.

c.7. Circa il trasporto e il conferimento in discarica (metodo tradizionale).

In ordine al trasporto dei rifiuti contenenti amianto, si applicano integralmente le disposizioni in materia di trasporto dei rifiuti: il Consiglio delle Comunità Europee del 19 dicembre 2002, e il decreto ministeriale 03.08.05, hanno dettato i criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, e in particolare quelli individuati con il codice 170605 (materiali da costruzione contenenti amianto) e costituiti, essenzialmente, da materiali edili contenenti amianto in matrici cementizie e resinoidi, e ha stabilito che possono essere smaltiti in discarica senza essere sottoposti a prove.

Si tratta di un principio normativo non condivisibile, e confliggente con il principio di precauzione⁵, secondo quanto stabilito dagli artt. 342 e ss. del D.Lgs. 152 del 2006, che ha recepito l'eguale principio sancito dall'art. 191⁶ del Trattato sul

⁵ L'art. 242, che stabilisce pregnanti obblighi a carico di chi inquina: "1. al verificarsi di un evento che sia potenzialmente in grado di contaminare il sito, il responsabile dell'inquinamento mette in opera entro 24 ore le misure necessarie di prevenzione e ne dà immediata comunicazione...2. il responsabile dell'inquinamento, attuate le necessarie misure di prevenzione...3. ...il responsabile dell'inquinamento ne dà immediata notizia al Comune ed alle Province competenti per territorio per la descrizione delle misure di prevenzione e di messa in sicurezza di emergenze adottate...", con la complessa procedura ivi contemplata (vedi l'integrale art. 242 del D.Lgs. 152/2006). L'articolo 301 impone l'intervento attivo di tutela dell'ambiente "in caso di pericoli, anche solo potenziali, per la salute umana e per l'ambiente" per perseguire un "alto livello di protezione", secondo il principio di precauzione, e solo in via alternativa e sussidiaria nel Codice dell'ambiente sono affermati al Titolo II i principi di **prevenzione e di ripristino ambientale**. L'azione di prevenzione trova il suo inquadramento normativo nel successivo art. 304, il quale sancisce espressamente: "quando un danno ambientale non si è ancora verificato, ma esiste una minaccia imminente che si verifichi, l'operatore interessato adotta ... le necessarie misure di prevenzione e di messa in sicurezza ... 3. Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, in qualsiasi momento, ha facoltà di: a) chiedere all'operatore di fornire informazioni su qualsiasi minaccia imminente di danno ambientale o su casi sospetti di tale minaccia imminente; b) ordinare all'operatore di adottare le specifiche misure di prevenzione considerate necessarie, precisando le metodologie da seguire; c) adottare egli stesso le misure di prevenzione necessarie. 4. Se l'operatore non si conforma agli obblighi ... il Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio ha facoltà di adottare egli stesso le misure necessarie per la prevenzione del danno, approvando la nota delle spese, con diritto di rivalsa esercitabile verso chi abbia causato o concorso a causare le spese stesse, se venga individuato entro il termine di cinque anni dall'effettuato pagamento".

⁶ L'art. 191 del Trattato sul funzionamento dell'Unione Europea, come riformato, conferma il ruolo della politica dell'Unione che in materia ambientale "contribuisce a perseguire i seguenti obiettivi: 1. - salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità dell'ambiente; - protezione della salute umana; - utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali; - promozione sul piano internazionale di misure destinate a risolvere i problemi dell'ambiente a livello regionale o mondiale e, in particolare, a combattere i cambiamenti climatici.

2. La politica dell'Unione in materia ambientale mira ad un elevato livello di tutela, tenendo conto della diversità delle situazioni nelle varie regioni dell'Unione. Essa è fondata sui principi della precauzione e dell'azione preventiva, sul principio della correzione, in via prioritaria alla fonte, dei danni causati all'ambiente nonché sul principio "chi inquina paga". In tale contesto, le misure di armonizzazione rispondenti ad esigenze di

Funzionamento dell'Unione Europea⁷, già 174 del Trattato dell'Unione Europea⁸, e non sono inusuali i casi nei quali con queste metodologie sono stati conferiti in discarica anche materiali friabili, oppure materiali dei quali in assenza di prove sono risultati alla prova dei fatti non corrispondente ad una superficiale valutazione tecnicamente eseguita senza prove, sicché l'ambiente e il territorio ne risultano compromessi e con essi la salute umana, anche per le generazioni future.

I rifiuti in amianto che dopo il trattamento presentano un indice di rilascio (i.r.) maggiore/uguale a 0,6, sono da ritenersi parzialmente stabilizzati, pertanto, qualora non sottoposti ad ulteriore trattamento, vanno avviati a discariche per rifiuti pericolosi.

Gli RCA che dopo il trattamento presentano un i.r. inferiore a 0.6 sono da ritenersi stabilizzati e pertanto potranno essere smaltiti in discarica secondo quanto previsto dal decreto legislativo 13 gennaio 2003, n. 36 "*Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti*" e dal sopracitato decreto del ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, e ciò conferma quanto sopra evidenziato, ed è in palese contrasto con l'art. 37 della Carta dei Diritti Fondamentali dell'Unione Europea e con gli artt. 2 e 8 Cedu oltre che con i principi dettati dall'art. 191 del Trattato sul Funzionamento dell'Unione Europea (principio di precauzione).

Ciò rafforza le tesi di coloro che invece ritengono indispensabile porre in essere anche nel nostro Paese tutti quegli strumenti normativi e legislativi, culturali e morali, affinché si privilegi la modifica completa della struttura cristallo-chimica dell'amianto da smaltire, in modo che superate le prove di cui all'allegato 3 del d.m. 248/04, si possa riutilizzare completamente come materia prima (anche perché le poche discariche ad oggi esistenti sono quasi sature).

c.8. Il conferimento in discarica.

I rifiuti contenenti amianto sono individuati nelle serie di categorie e tipologie⁹, previa analisi presso alcuni laboratori, secondo le regole contemplate **dall'allegato 5 al decreto Ministero della sanità 14 maggio 1996**, con il rilascio di certificato che accompagnerà il materiale fino al conferimento in discarica per i rifiuti non pericolosi e

protezione dell'ambiente comportano, nei casi opportuni una clausola di salvaguardia che autorizza gli stati membri a prendere per motivi ambientali di natura non economica, misure provvisorie soggette ad una procedura di controllo dell'Unione.

3. *Nel predisporre la sua politica in materia ambientale l'Unione tiene conto: - dei dati scientifici e tecnici disponibili; - delle condizioni dell'ambiente nelle varie regioni dell'Unione; - dei vantaggi degli oneri che possono derivare dall'azione o dall'assenza di azione; - dello sviluppo socio economico dell'Unione nel suo insieme e dello sviluppo equilibrato delle sue singole regioni. 4. Nell'ambito delle rispettive competenze, l'Unione e gli Stati membri collaborano con i paesi terzi e con le componenti organizzazioni internazionali. Le modalità della cooperazione dell'Unione possono formare oggetto di accordi tra questa ed i terzi interessati."*

⁷ Il diritto non può essere di cristallo, radicato nella linguistica formulazione delle sue norme, lontano ed astratto dall'uomo, perché altrimenti tradirebbe la sua stessa essenza, che lo fa essere uno strumento fondamentale ed indispensabile per il vivere civile e per il progresso della società, e dunque deve vivere nella dinamica del quotidiano sociale; programmare e disciplinare i rapporti, anche rispetto ai fini (tutela della libertà, dell'ambiente, della salute, etc.) dell'ordinamento; imporne i contorni ed i limiti, e l'applicazione del principio di precauzione, per evitare la lesione, e dunque per interdire comportamenti rischiosi, anche delle pubbliche autorità: ripristinare lo *status quo ante*, e con l'aggiunta delle sanzioni (adempimento-condanna in forma specifica, e con l'aggiunta del risarcimento dei danni), affinché siano anche dissuasive; coerenti con le aspirazioni dei singoli, anche nella dimensione collettiva, come partecipi dell'idea di progresso.

⁸ Nella versione in vigore dal 01.02.2003 (pubblicata in G.U.C.E. 24.12.2002, n. C-325, in seguito alle modifiche apportate dal Trattato di Nizza, firmato il 26.02.2001).

⁹ Ci sono una serie di categorie di rifiuti tra i quali *materiali di costruzione, attrezzature e mezzi di protezione individuale, freni, materiali isolanti, contenitori a pressione, apparecchiature fuori uso di amianto cemento, rifiuti da fabbricazione di amianto cemento, rifiuti da processi chimici ed alogeni, rifiuti da processi chimici inorganici, materiali ottenuti da trattamenti.*

permetterne la indicazione della destinazione con obbligo di trattenerne copia per un anno presso il produttore.

Con la direttiva comunitaria n. 1999/31/CE del 26 aprile 1999 relativa alle discariche dei rifiuti, vengono stabilite le modalità di ricopertura dei rifiuti RCA.

Le discariche che accettano rifiuti contenenti amianto (discariche per rifiuti non pericolosi e discariche per rifiuti pericolosi) devono essere coltivate ricorrendo a sistemi che prevedono la realizzazione di settori o trincee, ove apporre i rifiuti in amianto, realizzate in modo tale da consentire il passaggio degli automezzi senza causarne la frantumazione, ed entro lo stesso giorno dovranno essere ricoperti con uno strato di terreno di almeno venti centimetri di spessore, con consistenza plastica, in modo che si adattino alla forma e ai volumi dei materiali da ricoprire, ed impedire la dispersione delle fibre, e livellarne lo strato giornaliero, evitando che durante queste fasi si rompano gli involucri protettivi, con dispersione nell'ambiente e nel suolo.

Con la copertura finale si dovrebbe recuperare al verde l'area della discarica, senza più possibilità di suo utilizzo.

Inutile dire che dopo un certo periodo gli involucri sono destinati alla totale erosione, determinando così la dispersione nel suolo, fino alle falde acquifere, o la dispersione nell'ambiente, delle pericolose fibre di amianto con lesione dell'ecosistema e rischio per la salute umana, ecco perché si dovrebbe privilegiare, nel pieno rispetto dei precetti costituzionali, e internazionali, la trasformazione totale del rifiuto tale da determinarne il venir meno delle fibre e polveri di amianto.

c.9. Trattamento dei rifiuti contenenti amianto senza modificazione della struttura microcristallina.

Ci sono una serie di trattamenti che riducono solamente il rilascio delle fibre di amianto, senza modificare la struttura microcristallina, o modificandola solo parzialmente (tabella 1), con ottenimento di materiali stabilizzati o parzialmente stabilizzati, così come stabilito dall'allegato 2 del d.m. 248/04.

Non sono considerati trattamenti di stabilizzazione-solidificazione, di cui alla tabella A, il confezionamento in contenitori rigidi o flessibili, di cui al decreto del Ministero della sanità 6 settembre 1994, capitolo 5, comma 6 comma 7 e successive integrazioni ai sensi dell'articolo 6, comma 3 e dell'articolo 12, comma 2 della legge 257/1992, nonché i trattamenti usualmente impiegati nel corso delle operazioni di bonifica per la tutela degli operatori e la salvaguardia dell'ambiente.

Né l'incapsulamento modifica il codice originario del rifiuto.

Tipologia di trattamento	Effetto	Destinazione materiale ottenuto
Stabilizzazione/solidificazione	Riduzione del	Discarica

in matrice organica o inorganica stabile non reattiva	rilascio di fibre	
Incapsulamento		
Modificazione parziale della struttura cristallografica		

Tabella 1 - Processi che non modificano la struttura microcristallina dei materiali contenenti amianto, e che ne rendono necessario il conferimento in discarica.

d. I trattamenti che modificano completamente la struttura microcristallina dell'amianto e che ne annullano la pericolosità.

d.1. Premesse.

Ci sono dei trattamenti che modificano completamente la struttura microcristallina dell'amianto, e ne annullano la pericolosità, e il cui risultato, qualora siano rispettati i requisiti di cui all'allegato 3 del d.m. 248/04, ne permette il riutilizzo come materia prima, trasformando il problema in ricchezza e tutelando l'ambiente e la salute, anche delle future generazioni.

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		

Tabella 2 - Processi di trattamento per rifiuti contenenti amianto finalizzati alla totale trasformazione cristallografica dell'amianto

I materiali sottoposti ad operazioni di trattamento, esenti da amianto secondo i criteri riportati nell'allegato 3 del d.m. 29 luglio, 2004, n. 248, sono da considerare equivalenti ai materiali ottenuti da materie prime, qualora possiedano analoghe caratteristiche merceologiche per la loro commercializzazione ed impiego e come tali dovranno essere riutilizzati.

d.2. I diversi processi finalizzati alla trasformazione cristallografica dell'amianto contenuto nei rifiuti.

Il d.lgs. 152/2006 e successive modifiche, ribadisce le formule normative di inertizzazione e/o trattamento, già contemplate dal d.lgs. 22/1997.

Ogni impianto di trattamento deve soddisfare i requisiti di cui al d.lgs. n. 114/1995, in materia di prevenzione e riduzione dell'inquinamento dell'ambiente

causato dall'amianto, con l'indicazione dei valori limite delle emissioni gassose e liquide.

Come evidenziato, le discariche autorizzate ad accogliere i rifiuti contenenti amianto sono poche, sono quasi esaurite e con alti costi di manutenzione, mentre di contro esistono molti processi che sono idonei a rendere non pericoloso il materiale, e a trasformarlo completamente o quantomeno ne riducono la pericolosità.

Processi di condizionamento in matrici di diversa natura (cemento e resine etc.), oppure processi che intervengono direttamente sulla struttura del minerale, i primi ne rendono meno pericolose le fibre attraverso una azione di "contenimento" all'interno di una determinata matrice; i secondi invece determinano una "inertizzazione" che porta alla modifica della struttura fibrosa, e dunque alla completa rimozione del rischio per l'uomo e della lesione del territorio.

Ci sono i seguenti processi di trattamento e di destinazione del prodotto finale:

Trattamento	Principio	Volume del prodotto	Destinazione finale
TRATTAMENTI FINALIZZATI AL CONTENIMENTO DEL POTENZIALE INQUINANTE DEGLI RCA SENZA TRASFORMAZIONE DELLA STRUTTURA DELL'AMIANTO			
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 mecano-chimiche	Distruzione della struttura cristallina mediante stress meccanico	Inferiore al volume iniziale	Inerte Filler Catalizzatori

Questi processi sono alle seguenti fasi di avanzamento:

Processo	Paese d'origine	Brevetto	Tipo di installazione	Stadio di avanzamento
TRATTAMENTI DEGLI MCA A FREDDO MEDIANTE STABILIZZAZIONE/SOLIDIFICAZIONE IN MATRICE CEMENTIZIA				
REMATT	Belgio	Remtt	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 fattibilità
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	Università di Manchester- UMIST	fissa	pilota
PROCESSI MECCANOCHEMICI PER ULTRA MACINAZIONE	Europa		fissa/mobile	laboratorio

Questi i processi di trattamento:

Processo	Energia	Tipo di additivi	Tipo di scarti trattati	Valorizzazione dei residui
----------	---------	------------------	----------------------------	-------------------------------

TRATTAMENTI DEGLI MCA A FREDDO MEDIANTE STABILIZZAZIONE/SOLIDIFICAZIONE IN MATRICE CEMENTIZIA				
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
TRATTAMENTI CHIMICI DEGLI MCA				
TRESENERIE	elettricità gas	NaOH	floccati/CA	granulati per l'industria delle ceramiche, refrattari, componenti del cemento, industria delle costruzioni
SOLVAS	elettricità	HF, Ca (OH) ₂	principalmente floccati	industria chimica granulari
TRATTAMENTI DEGLI MCA MEDIANTE VETRIFICAZIONE PER FUSIONE				
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
MVP - VERT	gas	silice allumina CaCO ₃ MgCO ₃	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
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 componente cristallina
VETRO-	elettricità	fanghi goethitici e	tutti i tipi di MCA	materiali per

CERAMIZZAZIONE ANGLASS '96 - CERAM '93	gas	jarositici eventuale CaCO ₃ ed Na ₂ CO ₃		refrattari materiali da rinforzo materiali d'attrito materiali da costruzione
TRATTAMENTI DEGLI MCA TRAMITE CONVERSIONE TERMICA				
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
TRATTAMENTI DEGLI MCA MEDIANTE PROCESSI PIRO-METALLURGICI ED ELETTROLITICI				
MAGNOLA	elettricità		principalmente crisotilo	magnesio
MAGRAM	elettricità	dolomite calcinata ferro-silicio allumina	principalmente crisotilo	magnesio
PROCESSI MECCANOCIMICI PER ULTRAMACINAZIONE	elettricità	nessuno	tutti i tipi	materiali ad alta superficie specifica catalizzatori per l'industria chimica filler

d.3. La dispersione delle fibre e dei materiali in amianto nell'ambiente.

I materiali in amianto hanno una vita media tra i 20 e i 40 anni, condizionata dalle caratteristiche chimico-fisiche, dalle condizioni di installazione e di utilizzo, e dagli agenti fisico-chimici, non ultimo gli agenti atmosferici, nel corso della vita operativa.

Acqua, sole, vento, muschi e licheni, ossido di zolfo, piogge acide etc., in uno alle attività di manutenzione o alle azioni meccaniche, determinano processi corrosivi e dunque emissioni di fibre di amianto: anche l'amianto in matrice friabile ne cagiona la dispersione, perché si determina uno strato povero di matrice, aumentata a causa del degrado determinato da reazioni superficiali dovute all'alta affinità delle fibre per il Ca(OH)₂ e per i prodotti di idratazione del cemento.

Con il tempo molti MCA, perdendo le proprietà di resistenza meccanica, necessitano di interventi di manutenzione e/o rimozione, determinando la necessità di smaltire rifiuti contenenti amianto, presenti in 32 milioni di tonnellate solo in Italia.

Per i motivi sopra evidenziati, le strutture in Italia sono inadeguate alle necessità operative indotte dal problema dello smaltimento di amianto e renderebbero necessario realizzare degli impianti di trattamento che soddisfino i requisiti di cui al d.lgs. 114 del 1995, per la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento ambientale, e contemporaneamente proteggano gli addetti, secondo i principi (da noi ritenuti insufficienti) sanciti dal d.lgs. 81 del 2008 e successive modifiche ed integrazioni, che ha mandato in archivio le precedenti disposizioni di cui al d.lgs. 277/91, secondo limiti di soglia delle 100 ff/l, e tutta un'altra serie di accorgimenti che non annullano l'esposizione ad amianto con conseguente inalazione del pericoloso cancerogeno, in grado di determinare, in particolari condizioni enzimatiche, e anche a distanza di anni, aggressive patologie alcune delle quali mortali in pochi mesi (e che aprono a problematiche già affrontate in altre sedi).

Ove i prodotti che ne derivassero fossero privi di amianto, secondo quanto disposto dal disciplinare tecnico, verrà rilasciata la certificazione, secondo quanto stabilito dalla Commissione Nazionale Amianto, capace di descriverne anche le caratteristiche meccaniche e chimico-fisiche.

Con il certificato rilasciato dai laboratori idonei ai sensi del d.m. 14.05.96, questi prodotti possono essere riutilizzati, in molteplici processi produttivi.

Ci sono molti processi per rendere innocuo l'amianto, come detto quelli che lo condizionano in matrici di diversa natura (cemento e resine) e quelli che intervengono direttamente sulla struttura del minerale, i primi mediante una azione di "*contenimento*", la seconda di "*inertizzazione*".

d.4. I trattamenti a freddo.

Questi trattamenti contemplano i processi di condizionamento in matrici quali il cemento e le resine, e si differenziano tra di loro sia per il titolo di matrice, sia per la durata della conservazione, che sono capaci di garantire.

L'utilizzo del cemento idraulico come legame ha trovato ampia applicazione nel trattamento dei rifiuti tossici in generale e si impiega facilmente e con costi contenuti anche se comporta un aumento del peso del rifiuto e la destinazione del prodotto finale allo smaltimento in discariche controllate, e costituisce il più utilizzato tra i processi di stabilizzazione e/o solidificazione.

Queste tecnologie, con particolare riferimento a quelle in matrice di cemento, sono indicate per il trattamento dei rifiuti soprattutto non organici dove l'amianto è presente in quantità preponderante, ma non volatile.

Laddove ci siano quantità di amianto friabile, si rende opportuno il processo chimico fisico, e in ogni caso qualsiasi tipo di trattamento deve essere accompagnato da

documentazione di analisi, per poter scegliere il processo tecnicamente ed economicamente più conveniente.

d.5. Le tecniche di consolidamento.

Queste tecniche prevedono il totale inserimento dei materiali in amianto in una matrice organica o inorganica, capace di costituire legami chimico-fisici, che determinano un contenimento nel tempo, e ciò principalmente per quei rifiuti speciali che non possono essere trattati a prezzi ragionevoli con il processo chimico volto al recupero e al riutilizzo del rifiuto.

Questa tecnica fu introdotta per la prima volta negli Stati Uniti (processo chemifix), al fine di inserire rifiuti liquidi o fangosi in una matrice inorganica con silicati alcalini di sodio e potassio, capaci di formare, con l'aggiunta di ioni metallici polivalenti, masse solide come quella della roccia.

Il cloruro di calcio (CaCl_2), aggiunto direttamente a una soluzione acquosa di vetro solubile, determina la catalizzazione che indurisce i silicati, con formazione di una matrice silico-metallica.

La **Ecotec s.r.l.** (brevetto europeo n. 92830553.1) ha proposto un metodo di incapsulamento con silicati per realizzare strutture silossaniche, e stabilizzare così i rifiuti inorganici, specialmente per quelli provenienti dall'industria chimica e metallurgica.

d.6. Trattamento di immobilizzazione.

Esistono diversi sistemi.

Quello in **matrice polimera**, può essere utilizzato per i manufatti in cemento-amianto, che vanno prima puliti con l'utilizzo di meccaniche elettroidrauliche, che utilizzano getti d'acqua ad alta pressione, e con una resina epossica ad alto potere di penetrazione, così da consolidare le lastre di amianto, e applicare così la resina incapsulante, capace di offrire un'ottima resistenza agli agenti atmosferici, con adesione al supporto e un ottimo rivestimento continuo ed elastico, senza rischi per gli operatori attraverso l'esecuzione in ambiente confinato, e loro collocazione esterna.

Quello mediante **matrice cementizia**, porta a miscelare gli MCA con pasta o malta di cemento, contenente generalmente uno o più additivi, previa aggiunta di acqua in opportune quantità, in modo da ottenere, dopo adeguata stagionatura, un prodotto compatto ed omogeneo.

Le reazioni di cementazione producono una matrice di gel e strutture cristalline e semicristalline che determinano la micro incapsulazione delle fibre di amianto.

I cementi utilizzati hanno un elevato contenuto di clinker (circa l'80%) la cui compattezza, anche attraverso additivi, per azione fluidificante, per ottimizzare il

rapporto acqua/cemento e in modo da ottenere una maggiore velocità di idratazione, una minore capillarità residua ed una minore tendenza alla fessurazione.

In alcuni casi l'aggiunta degli MCA all'impasto, opportunamente preparati, è preceduta dalla miscelazione di additivi capaci di favorire il contatto tra acqua e fibre ed in grado di disperderle nell'impasto allo scopo di ridurre i vuoti, aumentare la densità (0,3 - 1,4 g/cm³) ed il rapporto volumetrico tra MCA e cemento.

Questi trattamenti riducono il volume ma aumentano il peso del rifiuto, e non si determina la trasformazione delle fibre di amianto, e in Italia sono stati messi a punto una serie di processi già dall'ENEA, mentre in Belgio è attualmente operativo il **processo Rematt**.

Questo processo è stato messo a punto da tre società che svolgono attività nel settore delle bonifiche: Renotec, Willich Revisma e Asbestos Removal in collaborazione con la società J.M. Balmatt, produttrice di manufatti in fibro-cemento, e prevede il trattamento, in una zona definita "nera", dove gli involucri contenenti amianto sono aperti, selezionati in modo manuale e triturati, per separarne i metalli ferrosi, anche attraverso separatori magnetici a cui segue il loro lavaggio e messa in imballaggio, e i materiali plastici contaminati sono compattati e imballati in doppio sacco di polietilene.

I materiali in amianto dopo la triturazione vengono miscelati con cemento e acqua nella misura del 30% dei componenti, con omogeneizzazione e colatura in forme metalliche della capacità di 1 m³ ed eventualmente vibrati, cui segue il trattamento ad aria aspirata nella zona "nera", determinandone una resistenza del manufatto pari a 1,5 Mpa.

Al fine di diminuire la spesa di trasporto e messa in opera dei manufatti in calcestruzzo, in alcuni casi sono stati aggiunti degli additivi plastici a struttura cellulare, capaci di ridurre il peso.

In Italia è stato brevettato il **Processo Petracem**, dalla omonima società, che si caratterizza per il trattamento preliminare dell'amianto con una "colla", che è capace di bloccare le fibre, ed è compatibile con l'amianto e con il cemento, con determinazione di una miscela il cui peso è ridotto del 50% rispetto al prodotto iniziale, secondo un processo molto simile alla fabbricazione del cemento pur con le necessarie precauzioni che tengano conto della manipolazione di sostanze pericolose.

L'ENEA ha elaborato degli studi sulla base di test di laboratorio, circa la massa volumetrica, la resistenza a compressione, la resistenza a 30 cicli di gelo e disgelo e misura della resistenza a compressione e delle fibre liberate per effetto della presenza di acqua acida (pH=4) e di acido nitrico 0,1 N.

Quindi si ottengono materiali che corrispondono al cemento, come caratteristiche meccaniche e di comportamento a lungo termine.

Sono simili le tecniche che si caratterizzano secondo il **processo Diwana**, messo a punto dalla omonima società, e secondo quello **Atoxim**, che realizza manufatti in cemento-amianto, con miscela di cemento e rifiuto.

Queste tecniche sono state ulteriormente perfezionate con il **processo Depuracque (ENEA)**, poiché l'aggiunta di additivi permette un efficace intrappolamento fisico delle fibre di amianto, e di realizzare manufatti con elevato rapporto volumetrico tra RCA e matrice cementizia (50-55% di RCA umidi), senza rischi di dispersione di fibre nell'ambiente.

Un particolare additivo è capace di “*bagnare*” le fibre e di “*allinearle*”, e di “*compattare*” il materiale, fino alla densità da 0,3 a 1,4 g/cc.

L'impianto consta di 4 sezioni: (a) quella adibita alla vagliatura e triturazione dell'amianto, (b) quella per il trattamento vero e proprio; (c) per il confezionamento dei manufatti a base di amianto; (d) l'ultima per la sicurezza ambientale e degli operatori; il tutto con container trasportabili, automatizzati, capaci di produrre un materiale che può essere smaltito nelle discariche.

L'ENEA tramite la società Smogless ha realizzato un **impianto mobile ICAM**, con il quale possono essere incapsulati i rifiuti in amianto in matrice cementizia: dopo un doppio stadio di granulazione, si raggiunge una dimensione massima di 15 mm, cui segue la miscela a freddo con cemento, acqua e additivi, e l'impasto è raccolto in big-bag da 1 m³, per la stagionatura, con capacità giornaliera di 10 m³ e azione in batch.

E' stato altresì realizzato un ulteriore processo detto **NUCLECO** (o inertizzazione per supercompattazione), messo a punto dalla Nucleco S.p.A., attraverso il quale si determina una riduzione del volume del 50% rispetto a quello originario con bassissimi valori dell'indice di rilascio delle fibre.

Può essere utilizzato per i rifiuti da decoibentazione, e determina un compattamento non superiore a 50 Mpa, dopo la triturazione e miscela, con legame cementizio, dentro fusti petroliferi di capacità di 220 l circa, fino a produrre pastiglie o pizze, rivestite da lamiera in ferro, la cui matrice alla stagionatura ha una resistenza a compressione fino a 30 Mpa ed un I.R. < 0,6 , che ne determina la possibilità di smaltimento in discarica.

d.7. I procedimenti chimici.

d.7.1. Premessa.

Queste tecniche prevedono la dissoluzione degli MCA con reattivi chimici, con attivazione delle reazioni anche attraverso la variazione della temperatura e della pressione.

d.7.2. Il procedimento Tresenerie.

La società Belga WASTE TREATMENTE BELGIUM (WTB) con brevetto internazionale n. W097/00099, ha proposto questo processo per prodotti floccati, successivamente esteso alla tipologia del cemento-amianto, e che si basa sulla dissoluzione delle fibre di amianto in una soluzione concentrata (>25 moli/litro) di soda ad una temperatura variabile tra i 180 e 200 °C e a pressione di 8-10 kg/cm², con ciclo produttivo che contempla attacchi in soluzioni concentrate di soda, che producono liquidi che possono essere riciclati e rigenerati per costituire la fase di attacco basico, e una fase solida, che può essere recuperata.

Il prodotto della reazione chimica è costituito da silice, silicati di diversi ossidi e idrossidi di ferro, a seconda della tipologia di amianto che viene trattata.

Per evitare la formazione di gas pericolosi è prevista l'immissione di alluminio e zinco.

Secondo la società titolare del brevetto la fase solida può portare a differenti comparti produttivi: (a) i residui in amosite e crocidolite possono essere utilizzati per la precipitazione di metalli pesanti in processi idrometallurgici o per la chiarificazione delle acque dei bacini di decantazione; (b) i residui del trattamento del crisotilo per le miscele di materiali utilizzabile nella produzione di ceramiche, maioliche, in alcuni tipi di cemento etc.; (c) gli altri residui possono essere utilizzati come legame negli incapsulamenti dei rifiuti tossici.

Ad oggi questo procedimento è stato testato solo in impianti pilota, ed è di dubbia fattibilità per la realizzazione di impianti industriali.

d.7.3. Il procedimento Solvas.

Questo procedimento è stato proposto dalla SOLVEY UNWELTECHNIK GmbH, e il principio si basa sulla dissoluzione delle fibre di amianto in una soluzione di acido fluoridrico, fortemente in relazione alla forte resistenza dell'amianto all'attacco di soluzioni acide.

I prodotti di decomposizione dei minerali di amianto sono costituiti essenzialmente da fluoruri ed esafluoruri degli elementi costituenti il materiale in ingresso al processo ed, in particolare, esafluorosilicati di magnesio, sodio e ferro (che possono essere impiegati come fondenti nell'industria del vetro e del cemento in percentuali dell'1-2%).

Le soluzioni che residuano vengono trattate con idrossido di calcio, per neutralizzare e precipitare il fluoruro di calcio, per riciclare la soluzione ai fini della produzione di acido fluoridrico.

E' stato realizzato un impianto pilota che è costituito da 3 sezioni (a) la prima "zona nera", in depressione e controllata, dove l'amianto viene preparato, con

granulazione, fino al trasferimento (b) nella seconda sezione, per il trattamento, con attacco di acido fluoridrico: se ne ottiene una reazione, ma per ottenere la dissoluzione completa dell'amianto bisogna raggiungere la temperatura di 100°C, e si producono gas che devono esser convogliati in aspirazione ad un dispositivo di filtrazione e lavaggio, con controllo della concentrazione di ioni fluoruro, al fine di eliminare completamente i minerali asbestoidi, ed evitare di contaminare l'ambiente; quest'ultimo processo (c) avviene nella terza sezione dell'impianto con latte di calcio, e il calore che si genera viene disperso mediante uno scambiatore di calore con grande potenza, e la neutralizzazione dell'acido in eccesso, porta alla precipitazione di diversi composti quali: fluoruro di calcio, ossidi ed idrossidi degli elementi chimici presenti nell'MCA (magnesio, ferro ecc.).

Si separa così la fase liquida da quella solida, e si realizza polvere fine inerte, utilizzabile per calcestruzzi, per prodotti contenenti fluoro, per fondenti, come materia base per la produzione di acido solforico.

Una unità pilota è stata realizzata nel 1992 a Brema, in un sito di stoccaggio di rifiuti di amianto.

Questa tecnica impone un accurato controllo e un'enorme serie di precauzioni, quali quelle dell'industria chimica, e l'utilizzo di acido fluoridrico, particolarmente pericoloso per l'ambiente e per la salute umana, e dunque non è condivisibile.

d.7.4. Tecnica di attacco chimico mediante l'utilizzo di HF brevettata in Italia.

Nel nostro Paese il dott. C. Sperandio ha brevettato un processo per rendere inattive strutture mobili o fisse contenenti amianto o asbesto di diverse forme.

E' particolare il disarmo della carrozza ferroviaria, per il cui processo secondo questa tecnica è necessaria una struttura metallica, o di altro materiale, per potervi immergere la carcassa in una vasca di reazione, opportunamente rivestita, con acido fluoridrico, con soluzione acquosa al 20% per una durata variabile tra i 30 ed i 60 min.

Segue una fase di lavaggio con acqua, previa neutralizzazione, della carcassa ed un suo eventuale utilizzo come rottame ferroso ed un recupero dei fanghi generati essenzialmente costituiti da anidride silicica e fluorite, con un gruppo di abbattimento e lavaggio dei gas uscenti dal reattore, un recupero dell'HF e la separazione dei fanghi.

Se ne è proposta una variante ingegnosa che prevede l'utilizzo del mezzo rotabile come reattore, attraverso la sua chiusura ermetica e l'immissione di acido dall'esterno con fori di alimentazione e scarico dell'HF, con consumo stimato di acido di 2 tonnellate per tonnellata di amianto, con costo inferiore al 50% circa rispetto al procedimento classico di bonifica.

Non senza rilevare come nello svolgimento concreto di queste attività con il metodo tradizionale, presso gli impianti cui venivano appaltate dalle ferrovie dello Stato, l'amianto veniva scoibentato a mani nude e senza alcuna informazione e formazione e soprattutto protezione per le maestranze, e in alcuni casi addirittura con sotterramento dei residui, senza alcuna precauzione (come nel sito ISOCHIMICA di Avellino, e come evidenziato dall'Osservatorio Nazionale Amianto con ricorso alla Commissione Europea e come confermato, purtroppo, dall'altissima incidenza di patologie asbesto correlate tra i lavoratori, che si vanno ora manifestando pure a distanza di 22 anni dalla chiusura, e analogamente per gli altri siti di tutto il territorio nazionale).

Queste e altre tecniche avrebbero potuto evitare quel tributo di sangue, le cui conseguenze si andranno nel tempo aggravando, con insorgenza di ulteriori patologie asbesto correlate, quantomeno fino al 2030, visti i tempi di latenza.

d.7.5. Gli altri studi alternativi di processi di soluzione chimica degli MCA.

Ci sono stati ulteriori processi inaugurati da ricercatori britannici agli inizi degli anni '80 e hanno cercato di ottimizzare le possibilità offerte dalla utilizzazione degli scarti acidi dell'industria chimica, soprattutto attraverso esperimenti di trattamento del crisotilo con attacchi acidi, quali: (a) miscele di acido nitrico e cromico proveniente dall'industri dei trattamenti elettrochimici; (b) soluzioni di acido solforico proviene dagli scarti dell'industria per la produzione di biossido di titanio; (c) miscele di differenti acidi (solforico, nitrico, cloridrico, cromico) provenienti da unità di trattamento delle superfici dei metalli.

E' stata scelta la quantità di Mg estratta mentre la variazione di morfologia delle fibre per indicare la degradazione dell'amianto, con osservazione al microscopio ottico a luce polarizzata: è emerso che solo la soluzione di acido solforico-cromico distrugge la struttura del crisotilo pari al 90%.

Tuttavia questa tecnica non è stata sviluppata su base industriale, in quanto non si riuscivano a rimuovere completamente le fibre di amianto, come del tutto non soddisfacente è stato ritenuto del risultato del tentativo eseguito negli Stati Uniti per la decomposizione chimica mediante l'utilizzo di H_2SO_4 (brevetto n. 4818143), seguita da una fase di solidificazione dei prodotti ormai inerti.

Infatti, con l'attacco acido si diminuisce la cristallinità del materiale e si forma un gel amorfo, che è l'anticamera del processo di produzione di vetroceramica a bassa temperatura: si può dunque miscelare a soluzioni gelificanti, costituite da tetra-etil-orto silicato, tetra-metil-orto silicato, silani, silicato di sodio opportunamente neutralizzate ed un'agente nucleante come il biossido di titanio per la costituzione del gel di partenza da

cui ricavare il vetroceramico, cui segue essiccazione della soluzione (350 °C) il materiale segue la fase di nucleazione (650 °C) e la fase di cristallizzazione (800 °C).

Il materiale finale è un vetroceramico con una frazione cristallina consistente, che può essere utilizzato come frittata, base per smalti e per strati sottili protettivi su laterizi e refrattari.

d.7.6. Vetrificazione per fusione.

Molti dei processi di inertizzazione presuppongono la fusione dell'amianto con temperature molto elevate, fino a 2000 °C, oppure con l'aggiunta di fondenti alcalini o altri additivi, con temperatura dagli 800 ai 1300 °C, seguita da un rapido raffreddamento con produzione di materiale inerte.

E' stato proposto il **processo Inertam**, elaborato da un gruppo di imprese nel 1992, dalla EDF alla Promethée (Promotion de l'énergie électrique dans les équipements thermiques et électromécanique), che ha elaborato un procedimento di trattamento per fusione dell'amianto a temperature dell'ordine di 1600°C con una torcia al plasma, per ottenere un prodotto inerte, insolubile ed esente da fibre, ed è la sola tecnica operativa permessa in Francia per trattare rifiuti di amianto in alternativa alla messa in dimora in scarica per i rifiuti tossico-nocivi.

Inizialmente installata presso la centrale termica d'Arjuzaux, è stata resa operativa a Morcenx (lotissement de cantegrit BP n. 23 - 40110 Morcenx), con capacità di trattamento portata a 8000 t/anno con l'entrata in servizio di una seconda torcia, rispetto all'iniziale capacità di 4000 t/anno, e con autorizzazione allo stoccaggio nel sito di 2500 t di RCA.

L'impianto non tratta i solventi, aerosol ed i materiali ad alto punto di fusione (refrattari ceramici, esplosivi, cartoni) ed i materiali ad alte concentrazioni di Pb, Zn, Hg, As.

L'installazione è composta da 3 zone in cui avvengono le tre fasi di trattamento: (a) *zona di caricamento*, nella quale i rifiuti classificati da Inertam secondo due categorie in funzione del loro potere calorifico devono essere condizionati in minibag da 25 l o fusti metallici da 230 l o in big-bag da 500 l (230 kg). Questi sono pesati e caricati automaticamente nella zona adibita al caricamento del forno; (b) *zona di fusione*, costituita da un forno ad alta temperatura grazie alla torcia al plasma, con potenza di 1,7 MW, costituita da due elettrodi tubolari tra cui scocca un arco elettrico che riceve il gas piasmogeno (aria, CO, H₂, He, H_r, O₂, C_xH_y e miscele di gas), attraverso un apposito sistema di alimentazione che porta la temperatura tra i 4000 e i 6000 °C; c'è un sistema di raffreddamento a circuito chiuso e un sistema di sicurezza capace di spegnere rapidamente la torcia del forno in caso di incendio. Il materiale di amianto rimane all'interno del forno per 40 minuti e alla fine una volta fuso viene colato

su siviere all'aria (con trasformazione di vetro inerte) o in acqua (con trasformazione in materiale granulare), oppure in sistemi di filatura e/o estrusione (con realizzazioni di materiali fibrosi simili a fibra di vetro); (c) *zona di trattamento dei fumi*, che devono essere trattati prima della loro immissione in atmosfera, presso il post-combustore, la cui camera assicura la combustione secondaria a circa 1200 °C dei gas contenuti nei fumi e/o prodotti di pirolisi, cui segue il raffreddamento, fino al punto di rugiada (170 °C), attraverso l'aggiunta di acqua vaporizzata e neutralizzati con soda, in una torre di neutralizzazione, per evitare emissioni acide; le polveri e i metalli pesanti sono infine contenuti attraverso un sistema di elettrofiltri e di filtri ad alta efficienza, mentre i fumi scaricati in atmosfera, attraverso una ciminiera debbono essere controllati (tenori di Cl, SO₂, NO_x ecc.) per essere conformi alle normative europee, con automatizzazione, ad alimentazione elettrica (3300 KVA) ed in grado di assicurare una tensione di 5,5 KV.

Il materiale in uscita all'impianto è un materiale inerte adatto alla costruzione di strade e massicciate ferroviarie.

Tuttavia è indispensabile una attenta verifica per evitare che non ci sia dispersione di polveri e fibre di amianto e di altri patogeni per l'ambiente e l'uomo, tanto da rendere necessaria una integrazione normativa, legislativa e regolamentare, per evitare che cittadini e lavoratori dei siti rimangano esposti e possano contrarre anche nel tempo delle patologie, e di compromettere l'ambiente per le future generazioni.

L'unico impianto operativo si trova in Francia, per quanto riguarda l'Europa, ed è per "fusione": l'unico permesso dalla legislazione francese.

d.7.7. Gli altri processi di vetrificazione.

Un altro esempio di vetrificazione mediante torcia al plasma è il **processo TERCA**, sviluppato dall'ENEL, e prevede l'utilizzo di un sistema modulare ed intercambiabile per l'ottenimento di prodotti finali immediatamente riutilizzabili, come granulato inerte, e si pensa di realizzarne un impianto nel Mezzogiorno d'Italia.

Anche il **C.S.M.** e l'**ENEA** hanno messo a punto, un impianto pilota, mobile anche se di capacità ridotta, al fine di ottenere un prodotto riutilizzabile nell'industria del vetro e da impiegare per la produzione di lana di roccia.

Così per il **processo Verultim**, proposto e brevettato dall'omonima società nel 1996 (domanda n. 96.03.144), compatibile con i diversi materiali presenti nel rifiuto MCA, con necessità di selezione prima dell'ingresso, per evitare problemi meccanici alle macchine nella fase di granulazione, che potrebbero essere determinati dall'introduzione di pezzi massivi, cui segue l'introduzione nel forno di fusione, tipo inceneritore, diviso in due sezioni, di cui la prima a temperatura di 800-900 °C, per la distruzione dei composti organici e la disidratazione degli MCA, prima dell'inserimento

nel forno di fusione, cui segue la colata tipo Verrier seguito da uno stadio di granulazione in acqua del fuso. L'apporto di energia è fornito da un bruciatore ossigeno-gas. L'installazione è completata da una sezione di trattamento dei fumi e dei gas comprendente una sezione di post-combustione, sezione di raffreddamento, filtraggio e lavaggio per la captazione di vapori acidi. Le polveri recuperate sono reintrodotte nel forno mentre le acque residuali prodotte in quantità di 1500 l/h a un pH = 8 con 1 g/l di cloruri e solfati, ma variabili in funzione del tipo e quantità di MCA trattati, sono depurate per un loro completo riciclo.

Inutile dire che le diverse fasi andranno regolamentate in modo specifico, con controlli ferrei, anche se precedenti esperienze nel campo, inducono a sconsigliare detta tecnica, per evitare che si trasformi in un *boomerang* per l'ambiente e la salute pubblica, anche delle future generazioni.

In Gran Bretagna, la società VERT (Vitrification and Environmental Recycling Technology Limited) ha proposto il **processo Mc Neill Vitrification Process (MVP)**, commercializzato attraverso la Chemical Exchange Directory s.a., con unità pilota installata nel 1996 nei pressi di Norimberga (Germania).

Questo processo si articola sulla tecnologia convenzionale relativa alla fabbricazione del vetro ma con diversa manipolazione e dosaggio dei rifiuti pericolosi e può essere adattato per il trattamento di altri materiali: (a) batterie, catalizzatori, filtri e tubi fluorescenti; (b) scarti di lavorazione, relativi ai processi metallurgici, pitture, scarti elettrolitici; (c) scarti minerali, tra i quali metalli pesanti, ceneri e polveri di filtrazione; (d) scarti organici, come oli usati etc.; (e) materiali fibrosi (fibre di vetro, ceramiche, lana di roccia e amianto).

Il processo si distingue in tre fasi, dall'analisi dello scarto, per definire la sua composizione, anche nel tempo e per ottimizzare la miscela adatta alla vetrificazione; cui segue la miscelazione: lo scarto industriale è miscelato con le materie prime come SiO₂, allumina (Al₂O₃), carbonato di magnesio (MgCO₃), carbonato di calcio (CaCO₃). Le proporzioni delle fasi minerali sono accuratamente controllate al fine di mantenere costante la composizione della miscela che sarà trasferita in una tramoggia di stoccaggio ed introdotta automaticamente nel forno di fusione; segue la vetrificazione: questo stadio è realizzato in un forno a gas di forma rettangolare e rivestito di refrattari contenente il bagno di vetro fuso mantenuto a 1550 °C.

Il contenuto organico della miscela subisce una pirolisi ed una decomposizione completa mentre le frazioni minerali fondono e sono disciolte nel vetro.

Il forno è dimensionato in modo da ottenere, per i composti volatili, un tempo di residenza nella zona a 1550-1550 °C di 2 secondi, per realizzare la combustione

sufficiente, cui seguono altri processi tali da determinare la completa fusione del materiale e omogeneità di composizione.

Le emissioni gassose sono controllate attraverso un sistema di trattamento dei gas e recupero di calore, con un sistema di filtraggio in ceramica e torri di lavaggio con acido, alcalino e neutro, fino al raffreddamento del gas (70°C) che determina la condensazione del vapor d'acqua, cui segue il trattamento dell'acqua di condensazione delle acque di lavaggio per il riciclo nell'impianto o lo scarico nelle acque municipali.

Con un dispositivo di colaggio il vetro fuso è estratto dal fondo del forno e raffreddato in un bacino di acqua e il residuo che si ottiene può essere utilizzato come granulato.

L'altro è il **processo Vitrifix**, è stato messo a punto in Gran Bretagna (brevetto europeo n. EP 0145.350A2 pubblicato nel 1985), attraverso il quale il bagno di vetro fuso è mantenuto all'interno di un fondo elettrico di tipo Verrier, con temperatura superiore a quella di decomposizione dell'amianto: gli scarti in amianto sono introdotti insieme a quelli di vetro granulati, all'interno di un forno di fusione, con aggiunta di un fondente quale NaOH (soda).

La vetrificazione avviene ad una temperatura superiore a 1000°C: con due sezioni e fasi, dallo stoccaggio e miscelazione dei granulati vetrosi (o materiali base) e del fondente (soda oppure metalli alcalino-terrosi, composti del boro, fluoruri o cloruri) in ragione del 20-80% di RCA, 80-20% di scarti di vetro e 0,5-5% di fondente, fino alla fusione all'interno del forno elettrico ad una temperatura di 1350-1380 °C, con una depressione per evitare la emissione di fibre nell'ambiente.

C'è anche una sezione di trattamento fumi (filtraggio e condensazione), attraverso la quale evitare emissioni di fibre e di altri inquinanti nell'ambiente e nel territorio.

Con tempi di resistenza del materiale di circa 1 ora, si cola il fuso in un bacino di acqua per la produzione di granulati.

Questo processo è stato collaudato in un impianto equipaggiato con un forno avente capacità di 5 tonnellate al giorno.

Un altro processo è quello per **fusione per induzione CEA**, proposto da CEA (brevetto francese FR 2668.726), e la licenza del brevetto è stato ceduto al gruppo industriale ONETT, e prevede di fondere le fibre di amianto in un forno per induzione, con temperatura controllata e l'aggiunta di un fondente dopo il superamento della soglia stabilita (ad esempio 1600 °C).

Gli induttori sono costituiti da un solenoide alimentato in corrente ad alta frequenza (dai 200 ai 600 Khz) ottenuta da un generatore di 80 KW per un contenitore da 300 mm di diametro. L'amianto è quindi fuso ed evacuato in continuo dal forno e l'installazione è equipaggiata con una camera di post-combustione per completare la

combustione dei gas di pirolisi generati. I gas evacuati da una ciminiera sono preventivamente filtrati e lavati, fermo restando che, anche in questo caso sarà necessaria ogni attenzione per evitare la contaminazione del suolo dell'acqua e dell'aria.

Il **processo DEFI-SYSTEMES** è stato proposto dalla società DEFI-SYSTEMES a Nimes (domanda di brevetto n. 9607262), con tecnica di utilizzo di un forno ad alta frequenza, che richiede materiale conduttivo per alzare la temperatura e utilizza le proprietà isolanti dell'amianto.

Al momento esiste solo un impianto pilota.

C'è anche il **processo I.N.P.G. Enterprise**, messo a punto dalla società omonima (Politecnico di Grenoble) ed induce la fusione magnetica ad alta frequenza, fino ad un serbatoio metallico raffreddato ad acqua.

L'amianto è così trasformato e fuso in un crogiuolo isolato.

Ne è stato realizzato un impianto pilota con un serbatoio di 600 mm di diametro, e 100 Kv di potenza e 100 kHz di frequenza, e l'inerte vetroso è utilizzabile per costruire strade e ripristinare cave.

Il **processo di vetrificazione ENEL** elaborato dal Centro ricerche e valorizzazione residui dell'ENEL (brevetto n. MI98A002194), con impianto pilota in Toscana, attraverso il quale le ceneri leggere di carbone sono utilizzate al fine di vetrificare l'MCA, con un ciclo termico di fusione a temperature non superiori a 1205°C per un'ora, cui segue il colaggio del fuso in una piscina di raffreddamento.

Questo procedimento è stato provato sui rifiuti proveniente dalla decoibentazione dei vapordotti delle centrali geotermoelettriche (l'80% di amosite e il 20% di legante, nel tentativo di sostenere l'enorme stress termico indotto dai vapori che dalle viscere della Terra sono portati nelle centrali per essere trasformati in energia elettrica), tristemente noti per aver determinato attraverso dispersione nell'ambiente e nei luoghi di lavoro, e le lavorazioni in assenza di qualsiasi informazione e formazione, e di protezioni, un gran numero di patologie asbesto correlate e di decessi, e un contenzioso in essere, penale e civile.

L'impianto è così costituito da (a) forno rotante basculante del tipo TBRC (Top Blow Rotary Converter) di forma simile a quello di una betoniera alimentato a metano-ossigeno; (b) sistema di caricamento del forno di tipo pneumatico per le polveri ed a tazze per i materiali di varia granulometria; (c) sistema di aspirazione e trattamento dei fumi derivante dagli ambienti di caricamento del forno e di colata; (d) gruppo di aspirazione dei fumi in uscita dal forno e linea di trattamento degli stessi; (e) siviere montate su rotaie per la raccolta del materiale fuso; (f) vasche di raffreddamento in cui il materiale fuso viene investito da getti di acqua in pressione per la solidificazione.

Questo processo, testato su miscele di MCA sino al 60% in peso, ha dimostrato l'efficacia di questo metodo, attraverso il quale si possono ottenere dei materiali privi di amianto con un consumo stimato in 0,5-0,8 KWh/kg e contenimento delle fibre killer.

Il **processo ENEA** messo a punto nel 1989 per la fabbricazione del vetro è un altro di quei procedimenti attraverso i quali c'è una fase di calcinazione (tra 300 e 900 °C), una di vetrificazione (a 1000-1400 °C), una di omogeneizzazione della massa vetrosa mantenuta in condizioni di viscosità per circa 4 ore, precedute dalla essiccazione e macinazione del materiale, con l'aggiunta di additivi a basso costo (reflui metallurgici e galvanici, polveri di abbattitori), con trasformazione in prodotto vetroso sodico-calcico da impiegare nell'industria del vetro o un materiale vetroso borosilicatico riutilizzabile per la pavimentazione stradale.

Né possono essere dimenticati gli studi sullo smaltimento degli MCA mediante produzione di lana di roccia, eseguiti presso il Department of Energy Mines and Resources in Canada, a partire dagli anni '70, allo scopo di valorizzare gli scarti delle lavorazioni minerarie dell'amianto nella regione del Quebec, e al fine di poter far uso dei materiali ivi estratti con metodologie tali da cercare di scansare le condanne internazionali dello stato nord americano¹⁰.

Con questi studi si asseriva la possibilità di produrre lana di roccia di ottime caratteristiche utilizzabile come isolante termoacustico, utilizzando scarti industriali di lavorazione delle rocce amiantifere, miscelati a sabbia.

Anche in Europa sono stati proposti processi per ottenere lana di roccia dagli stessi prodotti di scarto e scorie industriali insieme: questo processo richiede notevole attenzione alla composizione dei materiali refrattari, perché questi sono caratterizzati da SiO_2 e Al_2O_3 mentre le scorie di acciaieria o di altoforno sono caratterizzate da un diverso rapporto CaO/SiO_2 : la realizzazione di un prodotto ottimale presuppone che il rapporto $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)/(\text{CaO} + \text{Mg} + \text{Fe})$ debba essere accuratamente controllato e prossimo all'unità, diversamente sono necessarie correzioni con l'aggiunta di silice o allumina, con l'iniziale fusione a 1300/1450 °C dei prodotti in amianto ai quali in un secondo tempo si aggiungono gli scarti siderurgici premacinati ad una dimensione di 1-3 mm, cui segue la filatura del materiale fuso in un piatto rotante in pietra refrattaria, e con agitazione meccanica o a corrente di azoto della miscela, cui segue la filatura, per la quale è necessaria una viscosità tra 20 e 200 Pa/s.

¹⁰ La Francia aveva emesso un decreto con cui si proibivano l'uso e l'importazione di amianto e di prodotti che lo contenevano (European Communities-Measures Affecting the Prohibitions of Asbestos and Asbestos Products, WTO Doc. WT/DS135/AB/R, 12 marzo 2001), contro il quale il Canada aveva ricorso agli Organismi internazionali, e l'Appellate Body dell'Organizzazione Mondiale del Commercio ha confermato le conclusioni cui era giunto precedentemente il Panel, circa la legittimità della proibizione: questa violazione del principio cardine della libertà di commercio veniva considerata lecita in quanto rappresentava una misura necessaria a proteggere la vita e la salute umana (eccezione prevista dall'art. XX lett. B del Gatt) e perché non contraddiceva gli obblighi assunti dalla Francia in virtù dell'adesione alla Organizzazione Mondiale del Commercio.

C'è altresì in Italia un brevetto detenuto da **C.S.M. (1993)** consente di ottenere un materiale coibente ed isolante valido per l'edilizia.

Anche l'ENEA ha condotto studi sui processi di vetrificazione del cemento amianto, con esami di laboratorio con diverse condizioni operative, circa la composizione della miscela di scarto, dalla silice ai carbonati di sodio o prodotti a base di boro, dimostrando che il prodotto finale è un vetrificato inerte che può essere utilizzato come materia prima per vetri colorati, fritte, fibre di vetro, isolanti termici o acustici e nell'industria edile.

Ce'è un ulteriore processo che è quello di **litificazione**, con il quale si raggiunge la fase di fusione tra i 1300 e i 1450 °C, con parziale cristallizzazione attraverso un lento raffreddamento, generalmente all'aria, che permette di realizzare un prodotto con durezza di 5-6 della scala Mohs, e un elevato peso specifico (3,15 - 3,20 g/cm³) ed una ottima resistenza meccanica sia alla compressione che alla trazione che lo rendono adatto nell'industria delle costruzioni.

Una variante del processo può prevedere la filatura del fuso, nella quale si realizzano dei vetri, con fasi cristalline non rilevanti, e componente vetrosa molto simile ad ossidiana, con ricchezza di ferro, calcio e alcali, spesso per effetto dell'utilizzo di fondenti.

Altre sperimentazioni sono state compiute nel Centro sperimentale dell'IRI con un forno ad induzione capace di raggiungere i 2000 °C e a temperatura di esercizio di 1550 °C, realizzando così un materiale esente da amianto, che può essere utilizzato nell'industria delle costruzioni, in quanto ha una densità, porosità e resistenza alla compressione tale da renderlo ottimo ed efficace.

La litificazione pirolitica è la conversione di qualsiasi prodotto attraverso il quale con materiale inorganico si realizza il legame con le fibre di amianto dando luogo a un prodotto solido, dove la componente organica è decomposta precipitando alla combustione.

Questa tecnica è propria dello smaltimento dei reflui, emessi nei processi industriali ed è importante perché li ingloba nel processo produttivo.

- residui di raccolta di legumi secchi;
- residui di piante oleaginose (ricino, cartamo, ecc.);
- residui di piante da fibra tessile (cotone, canapa, ecc.);
- residui legnosi di potatura di piante da frutto e di piante forestali;
- residui dell'industria agro-alimentare

Le caldaie a letto fluido rappresentano la tecnologia più sofisticata e dispendiosa che sta ricevendo, però, notevoli attenzioni; infatti essa permette il conseguimento di numerosi vantaggi quali la riduzione degli inquinanti e l'elevato rendimento di combustione.

Esistono molte tecnologie particolari: il sistema Thermofuel®, ad esempio, permette di ottenere, a partire dalla plastica, gasolio sintetico attraverso pirolisi condotta a temperature più basse (370-420 °C). La pirolisi può essere anche utilizzata come parte integrante di altri processi quali il trattamento meccanico-biologico e la digestione anaerobica.

La pirolisi per la produzione di biocarburanti

Alcune tecniche particolari di pirolisi sono allo studio per la realizzazione dei "biocarburanti di seconda generazione".

La tecnica allo studio in Francia riguarda il pretrattamento della biomassa vegetale con la pirolisi "flash" per ottenere olio combustibile. Questo sistema richiede però notevoli volumi di biomassa, e si cerca quindi di affinare metodi di lavoro che consentano di trattare la biomassa lontano dalle centrali (direttamente sui luoghi di raccolta) per ridurre i costi. Con la pirolisi "flash" si può convertire la biomassa in un particolare olio che viene successivamente convogliato presso una centrale che produce il carburante.

Anche in Germania invece il metodo allo studio (definito "*bioliq*") intende realizzare biocombustibili dopo aver trattato in sito la biomassa. L'olio intermedio ("biosyncrude") è caratterizzato da alta densità, cosa che consente di abbattere i costi di trasporto. La biomassa è trasformata attraverso la pirolisi in biosyncrude per mezzo di un riscaldamento effettuato in ambiente privo di aria. Alla fine del processo è possibile ottenere combustibile diesel, idrogeno e metanolo.

Il procedimento in ordine all'amianto: si smaltisce con l'argilla espansa, realizzata con una miscela di argilla purificata, con un contenuto medio di acqua pari al 22/24% e olio combustibile allo 0,8%, attraverso 4 fasi: (a) essiccazione; (b) combustione; (c) fusione parziale e (d) raffreddamento.

La miscela viene essiccata in una sezione del forno di cottura con bruciatore diretto sull'impasto, che porta la temperatura a 300 °C, con perdita di acqua di assorbimento, e poi via via di tutto il materiale liquido (fino all'acqua di costituzione),

che determina la demolizione della struttura cristallina dell'argilla, cui segue la combustione delle sostanze organiche e rapido aumento delle temperature con espansione dell'argilla per la fuoriuscita del gas, e nel forno la temperatura raggiunge i 1300/1400 °C e i granuli aumentano di temperatura fino alla formazione di uno strato esterno vetroso.

Con le alte temperature le argille hanno capacità di fissare gli ioni metallici, e se in miscela viene aggiunto del materiale contenente amianto, dalla reattività dell'argilla alle temperature tra i 650 e i 950 °C, si determinano una serie di reazioni, che portano alla formazione di fasi silicatiche: qualora nel processo di lavorazione degli impianti industriali di produzione di argilla espansa si utilizza amianto fino al 20%, si realizzano argille espanse utilizzabili tecnicamente.

Ci sono anche processi di **vetroceramizzazione**, con i quali si realizzano materiali vetroceramici utilizzando reflui industriali, con fusione ad elevata temperatura (1350/1550 °C), con omogeneizzazione del fuso, e una fase di nucleazione a temperatura più bassa (tra i 700 C ed i 900 C) e una fase di cristallizzazione, durante la quale si forma la componente cristallina del vetroceramico a temperature comprese tra i 750 C ed i 950 C.

I tempi di fusione, nucleazione e cristallizzazione sono lunghi e dipendono dalla fluidità del fuso, dalle condizioni di degrassaggio del materiale di partenza e dal tipo di lavorabilità che deve avere il materiale finale: i campi di utilizzo del vetroceramico e la microstruttura presente nel materiale vetroceramico.

In alcuni processi il rifiuto viene fuso a temperature comprese tra 1300 e 1500 C insieme a particolari additivi, quali scorie d'altoforno o fanghi industriali, formando così una miscela ad elevato tenore in metalli.

La scoria che si ricava viene fatta cristallizzare a temperatura controllata; in questo modo si ottengono prodotti con elevatissima resistenza meccanica e particolarmente adatti come piani di rivestimento e di protezione dell'industria edile, chimica e meccanica.

Variante al processo è la fusione ad elevate temperature in presenza di fasi nucleanti costituite da biossido di titanio. La fase di nucleazione avviene a circa 600 C mentre la fase di cristallizzazione a temperature comprese tra 750 e 850 C.

Nel processo Amglas '96 e Ceram '93 (brevetto europeo EP 0 696 553 A1) è stato proposto di miscelare gli MCA con i reflui provenienti dall'estrazione elettrolitica dello zinco (fanghi rossi). Gli MCA miscelati con acqua (30-70% in peso) vengono macinati e miscelati con i fanghi rossi preventivamente filtrati per epurarli delle componenti saline. Durante la miscelazione ad umido (ad un tenore di amianto pari a circa il 75-90%

a cui corrisponde un'aggiunta di carbonati (CaCO₃ ed Na₂CO₃) o scorie vetrose in percentuale variabile dal 15 al 60%.

Il processo si conclude con la fusione a temperatura tra i 1100 ed i 1400 C ed una cristallizzazione determinata mediante un riscaldamento in forno a 600-900 C della durata variabile da 1 a 6 ore. Si tratta di un processo realizzato solo in laboratorio, e il risultato è un prodotto ad elevatissima percentuale di fase cristallina e classificabile come vetroceramico, tra quelli interessanti per la loro elevata temperatura di fusione, basso coefficiente di dilatazione termica ed elevatissima resistenza all'abrasione e, quindi, utilizzabili nel campo dei materiali da costruzione, nel campo dei refrattari oppure come materiali da rinforzo o da attrito.

d.8. I trattamenti di conversione termica.

d.8.1. Premessa.

Contrariamente alla fusione-vevtrificazione queste tecniche consistono nel trattare i materiali in amianto a temperature inferiori a quelle di fusione, eventualmente miscelandoli con altre sostanze, realizzandone così la conversione in specie mineralogiche di sintesi e non pericolose.

Queste tecniche sono preferibili perché permettono un più accurato controllo del processo in grado di evitare la fuoriuscita del prodotto non completamente innocuo, a causa di un eventuale non funzionamento corretto del forno.

d.8.2. Il processo Asbestex.

Questo processo è stato proposto dalla società Asbestex System GmbH (Leisse 11B D. 44287) Dortmund (brevetto europeo EP 0484.866), con impianto pilota in Neustadt/Glewe in Germania, già operativo attraverso il quale i materiali di amianto si frantumano fino ad ottenerne un prodotto granulare, che viene immesso nel forno rotativo per trattarlo ai fini dell'inertizzazione.

Gli impianti di stoccaggio e trasporto interno del prodotto sono in costante depressione controllata, e i materiali sono stoccati in sicurezza e introdotti successivamente in una zona "nera" mantenuta in depressione e con trattamento dell'aria aspirata.

Gli imballaggi vengono aperti e sottoposti ad analisi per definire i parametri di trattamento, dalla temperatura alla durata, con granulazione in un mulino speciale, e trasferimento in aspirazione ad un forno rotativo a temperatura di 1200 °C, e con trattamento dei gas prima dell'emissione nell'atmosfera.

L'impianto pilota ha una capacità di trattamento di 0,8 m³/h ma è in sviluppo una unità da 2,5 m³/h.

Questo processo permette di ottenere dei materiali che possono essere utilizzati come granulati per l'industria delle costruzioni, per produrre gesso come additivo e di asfalto come materiale di riempimento, o nell'industria della ceramica.

d.8.3. Il processo Asbestos Conversion System.

C'è altresì un ulteriore processo Asbestos Conversion System (ACS) è stato presentato dalla società americana Asbestos Inc. (brevetto USA n. 5.096.682 del 1992) ed in Europa dalla società Regency International Group Ltd. (45/46 Chamber street London E1) in Italia dalla Server s.r.l., la cui tecnica permette di trattare tutti i tipi di amianto, con la frantumazione in frantoio, capace di ridurli a frammenti inferiori ai 25 mm, cui seguono ulteriori fasi di frantumazione, cui si aggiunge una soluzione alcalina al 5/7% di borace, come agente "*mineralizzante*", con convogliamento in un forno rotativo mantenuto alla temperatura di 1200 °C, e con alimentazione con 300 Kg/h di materiale, con regolazione tale da determinare in un'ora il tempo di resistenza, e successivo versamento del prodotto per gravità in una vasca contenente acqua, quindi estratto e trasferito in un recipiente di stoccaggio.

Nel forno rotativo vengono introdotti circa 600 Kg/h di aria per trattare i composti organici, e i vapori sono trattati con soluzioni di soda, mentre i gas sono raffreddati prima di essere scaricati in atmosfera, questi ultimi attraverso un filtro HEPA.

Si ottengono così materiali per l'industria delle costruzioni, granulati per il calcestruzzo, fertilizzanti o stabilizzanti dei suoli, controllo del Ph nei processi di trattamento nell'acqua, ferma la necessità evidentemente di una attenzione e costante controllo e verifica dei fumi e vapori e dei gas scaricati nell'atmosfera, che debbono essere privi completamente di amianto e di altri inquinanti, come condizione imprescindibile di legittimità sotto il profilo giuridico e validità sotto il profilo tecnico, del processo di inertizzazione.

d.8.4. Il processo di ceramizzazione Cordiam.

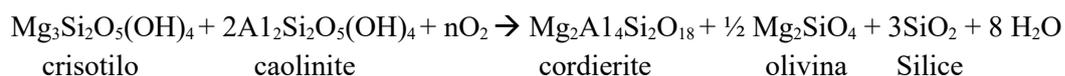
Questo processo con brevetto RM95A000269 e brevetto europeo EP 0 696 560 A1, utilizza la miscelazione del rifiuto di amianto con caolinite o caolinite-illite per ottenere, mediante trattamento termico, un prodotto a cordierite.

La cordierite (Mg, Fe) Al, Si, O è un silicato con struttura simile a quella del berillo: la modificazione di bassa temperatura, di struttura orto rombica, contiene anelli a sei tetraedri (Si, Al)O. Ogni anello è legato ad anelli simili attraverso due dei quattro ossigeni di ciascun tetraedro per formare colonne di anelli che racchiudono ampi canali vuoti.

Le colonne così formate sono legate fra loro a formare un'impalcatura esagonale mediante ioni Al e Mg in coordinazione ottaedrica. La forma di alta temperatura della cordierite, chiamata indialite, ha la stessa formula chimica della cordierite, con maggior

casualità della distribuzione dei siti dell'Al e del Si. La sintesi della cordierite può essere fatta a partire da miscele di silicati di magnesio ed alluminio, ad esempio da miscele di crisotilo e caolinite.

Si realizza un trattamento termico tra 600 C e 1100 C durante il quale all'amianto si unisce argilla, per convertire i minerali di asbesto in materiali classificabili come ceramici: infatti l'argilla di tipo caolinico, seppur di bassa qualità, determina uno scambio ionico con i materiali di amianto dando luogo a fasi non fibrose utili per l'industria secondo la seguente reazione:



Una simile reazione può essere ipotizzata anche per l'amosite e la crocidolite, nella quale la prima perde ossidi di ferro, la seconda tende a dissociarsi in silico-alluminati di sodio.

Fino alla temperatura di 800 °C, la reazione è indipendente, poi iniziano reazioni di scambio e di cristallizzazione.

Il crisotilo ha una prima reazione endotermica di deidrossilazione tra 550 e 650 °C seguita da una reazione di cambiamento di struttura tra 900 °C e 1000 °C quando si ha la cristallizzazione di olivina ed enstatite. Tra la reazione di deidrossilazione e quella di cristallizzazione dell'olivina ed enstatite si determinano fasi di transizione in cui si realizzano fasi silico-magnesiache in parte amorfe.

La caolinite ha una reazione di deidrossilazione endotermica tra 550 °C e 700 °C: dopo questa reazione si decompone e si riscontrano fasi quali a-allumina e silice amorfa ed una fase definita metacaolinite. La silice amorfa e la a-allumina tendono a ricombinarsi oltre i 1300 °C, dando luogo alla formazione di mullite. La reazione tra crisotilo e caolino avviene durante la decomposizione delle due fasi, tra 500 °C e 950 °C: in questo intervallo termico si determinano le interazioni tra la componente silico-magnesiaca (probabilmente in stato amorfo) e la componente silico-alluminosa della metacaolinite e della fase amorfa associata, che subisce alcune modificazioni parziali nella temperatura in base alla presenza di sostanze inquinanti quali ossidi di ferro, carbonati, solfati di calcio.

La presenza di grandi quantità di solfato di calcio (gesso) cambia la composizione del prodotto finito, in quanto si forma un silicato di calcio e magnesio quali la cordierite ed akermanite.

Si tratta di tutta una serie di reazioni che determinano la trasformazione del rifiuto tale da renderlo innocuo, rispetto all'iniziale rischio morbigeno, e si possono ottenere dei prodotti quali (a) polveri ceramiche, quali olivina, enstatite, mullite (tra 750 e 950

°C); (b) sinterizzati leggeri ($d=1,05 \text{ g/cm}^3$) contenenti enstatite, mullite, cordierite (tra 950 °C e 110 °C); (c) sinterizzati pesanti ($d=1,8-2,6 \text{ g/cm}^3$) contenenti cordierite ed enstatite/mullite (tra 110 °C e 1300 °C).

I prodotti ottenuti dal processo di ceramizzazione si distinguono in (a) materiali ceramici ad elevata refrattarietà derivanti da rifiuti di amianto che contengono quasi esclusivamente fibre, quali i tessuti, le corde, le lane di amianto, le carte, i cartoni e che sono costituiti quasi esclusivamente di cordierite, vengono impiegati industrialmente nella fabbricazione di supporti a basso coefficiente di dilatazione termica, come supporto ceramico per la fabbricazione delle marmitte catalitiche e di filtri catalitici per uso industriale; (b) materiali ceramici per fritte derivanti dal trattamento di misti di vario genere, quali materiali compositi con cemento-amianto, pannelli, coibentazioni spruzzate in amosite. I materiali ottenuti hanno caratteristiche tali da poter essere reimpiegati come inerti o come materiali ceramici per refrattari e per laterizi; (c) materiali ceramici per laterizi derivanti dal trattamento di eternit, dei tubi cassoni in cemento amianto e qualsiasi altro tipo di rifiuto contenente amianto costituito da matrice cementizia. I prodotti ottenuti hanno ottime caratteristiche di isolamento termico e mostrano elevata porosità ed elevata temperatura di rammollimento ($> 1400 \text{ °C}$) e possono essere impiegati nella fabbricazione di pannelli isolanti.

Il tutto secondo la seguente tavola riassuntiva:

Tipologia di rifiuto	% amianto	Rapporto argilla/rifiuto	Prodotti ottenuti	Utilizzo
Cemento-amianto (lastre, tegole, tubi)	12-60	1:1 – 1:3	Silicati di calcio ed alluminio Wollastonite Akermanite	Industria edile Ceramici industriali
Amosite (coibentazione a spruzzo)	80-100	1:1 – 1:2	Cordierite Silicati di Fe-Mg	Industria refrattari Ceramici industriali inerti
Crisotilo (tessuti, corde, cascami di lavorazione)	65-100	1:1	Cordierite	Filtri catalitici Refrattari per industria chimica
Crocidolite (coibentazioni ferroviarie)	70-100	1:1	Fe-Cordierite	Catalitici per industria chimica Ceramici industriali

I materiali ottenuti dal processo di ceramizzazione a temperature di 800-1200 °C sono costituiti da una miscela di fasi cristalline, molto simili a quelle di un laterizio, con silicati di calcio, alluminio, magnesio e ferro.

I residui del preesistente amianto hanno forme allungate, ma molto facilmente riconoscibili dai minerali di amianto sia per la loro morfologia, sia per la loro composizione chimica e strutturale, tanto da determinare l'incremento della ricerca di

materiali sostituiti con la sintesi di nuove fibre e la riscoperta di precedenti materiali prima poco utilizzati, per ovviare alla pericolosità dell'amianto.

In genere le ricerche sono orientate su tre categorie di prodotti: fibre organiche, fibre inorganiche e fibre composite. Tra le fibre cristalline più importanti si possono citare la wollastonite e la sepiolite.

La wollastonite è un silicato di Ca (CaSiO_3) e trova largo impiego nella preparazione di fibrocementi, plastiche rinforzate ed alcune tipologie di elementi per isolamento elettrico e nell'industria delle ceramiche e vernici.

È considerato attualmente un ottimo sostitutivo dell'amianto qualora rispetti determinate caratteristiche di forma. Attualmente la wollastonite è prodotta da grezzi minerali o attraverso processi di sintesi.

e. Processi per la produzione di materiali sostitutivi dell'amianto.

e.1. Brevetto MI 98A 002194

E' stato proposto anche un brevetto MI 98A 002194 relativo al processo di ceramizzazione con il quale dal rifiuto si realizzano prodotti sostitutivi dell'amianto con struttura cristallina e morfologica fibrosa, ma del tutto inerti dal punto di vista sanitario.

Anche in questo caso è necessaria una attenta verifica e sperimentazione degli effetti di queste fibre sulla salute umana per evitare che si ripetano, come per l'amianto, quelle condizioni che ne hanno determinato la tardiva affermazione di una pur consapevole coscienza dell'enorme rischio morbigeno per la salute umana, sacrificata ai fini del profitto, e con la messa al bando quando già l'ambiente e il territorio erano stati contaminati e il tributo in vite umane altissimo, nel passato, presente e futuro.

Questo processo prevede la miscela di residui a composizione essenzialmente calcica (propria degli scarti dell'industria edile) con quelli a composizione silicatica (della industria vetrosa) e il riscaldamento a temperature tra gli 850 e i 1100 °C, per formare un materiale sintetico del tipo wollastonite¹² e con degradazione termica di tutti i tipi di amianto.

Possono essere trattati soltanto quei rifiuti che hanno una preponderante componente amorfa e che sono facilmente preparabili, senza necessità di macinazione e che hanno una temperatura di reazione relativamente bassa per limitare il costo di trattamento: la quantità di amianto determina le altre componenti, affinché la concentrazione di wollastonite sia la più alta possibile.

Se si utilizzano manufatti in cemento-amianto (coperture di eternit, tubi, serbatoi ecc.) la composizione mineralogica è essenzialmente formata da cemento Portland, inerti e crisotilo, oppure miscele crisotilo-amosite (in totale 15% di amianto).

Questi ultimi possono essere miscelati con rifiuti di vetro. Alla temperatura di 650

¹² La wollastonite è un comune minerale proveniente da rocce calcaree e marnose metamorfiche di contatto.

°C la parte carboniosa del cemento perde la componente CO₂ e si trasforma in CaO, mentre la componente dei silicati del cemento subiscono una serie di trasformazioni di fase.

La reazione verso il termine wollastonite è estremamente veloce e le dimensioni dei cristalli che si formano dipende dai tempi di trattamento e dalla temperatura di cristallizzazione. Si ottiene quindi un prodotto esente da amianto e costituito essenzialmente da wollastonite di grado medio paragonabile a quello minerario con quantità accessorie di akermanite e ghelenite.

Se vengono utilizzati MCA a più alto contenuto in asbesto la miscela deve essere corretta mediante apporto di calcio ottenuto, ad esempio, introducendo degli scarti dell'industria edile. Attualmente il processo è stato testato solo a livello di laboratorio.

e.2. Smaltimento di amianto mediante la produzione di clinker¹³.

Molte industrie tra quelle del cemento, in Europa, hanno ipotizzato di smaltire l'amianto attraverso la produzione di clinker, con studi i cui risultati sono stati ritenuti di somma riservatezza e non pubblicati, e tendono a riciclare i rifiuti di cemento amianto.

Questi materiali da problema possono trasformarsi in risorsa qualora fossero utilizzabili come materia prima calcarea e silicia utilizzabile per il cemento con presenza di crisotilo in ragione del 10/15%, fermo restando che si nutrono forti dubbi sulla loro sicurezza.

Tuttavia non può essere trascurato che con un opportuno trattamento termico ad alta temperatura il crisotilo può dar vita a forsterite (Mg₂SiO₄), e a più alta temperatura a gruppi MgO sostituiti da gruppi CaO e tali da produrre ossidi di magnesio (MgO) e silicati di calcio (Ca₂SiO₄).

Tuttavia l'ossido di magnesio (periclasio) può determinare un comportamento anomalo del cemento nella fase di idratazione (specialmente espansione), sicché può essere utilizzato come materia prima purché se ne tenga conto, in ragione della maggior presenza di magnesio che era originariamente presente nella composizione chimica dell'amianto.

E' stato quindi dimostrato che è possibile preparare un legante idraulico di composizione molto simile al cemento standard per semplice apporto di CaO e CaF₂.

Tuttavia questa tecnica non può essere utilizzata in quanto le industrie cementifere dovrebbero essere modificate per divenire idonee a trattare in sicurezza rifiuti tossicologici e ci sarebbe un rischio concreto per gli operatori e per l'ambiente.

Si potrebbe ipotizzare l'utilizzo di questa metodologia nella produzione del cemento per via umida, che costituisce tuttavia una tecnica già abbandonata da tempo.

¹³ Il **clinker** è il componente base per la produzione del cemento.

E' stata avanzata la proposta di trattare tecnicamente il cemento-amianto ad una temperatura non superiore ai 900 °C per evitare la formazione dell'ossido di magnesio, attraverso unità separate al fine di degradare al componente asbestoide: si producono silicati di calcio che possiedono proprietà idrauliche in condizioni controllate di temperatura.

Queste verifiche hanno condotto ad affermare che c'è la possibilità di produrre cementi di caratteristiche tecniche simili a quelle commerciali, con clinker ottenuti mescolando il 5/10% di prodotti di degradazione termica del cemento-amianto così con possibilità di smaltire grandi quantità di cemento-amianto.

Questa tecnica è quella utilizzata nel cementificio di Eclepens in Svizzera, realizzato in seguito allo studio eseguito dall'Ecole polytechnique federale di Losanna: questo stabilimento lavora scarti di amianto da diversi anni.

In Italia è stato messo a punto un altro procedimento dalla Italcementi (brevetto MI92A001803), con il quale si tende a riciclare manufatti di eternit dai quali realizzare cemento idraulico, con trattamento termico (dai 600 agli 800 °C) senza macinare il rifiuto.

Il materiale di risulta ha una certa reattività idraulica e può essere reimmesso nel ciclo di produzione del cemento o come materia prima in aggiunta alla farina per la preparazione del clinker o come correttivo del medesimo per preparare il cemento, tenendo comunque presente l'apporto di Mg per il crisotilo contenuto per il 90% nell'eternit, purché non utilizzato in quantità superiore al 5% del peso complessivo del prodotto da realizzare.

f. I processi metallurgici.

f.1. Premessa.

Questi processi presuppongono e ottimizzano il crisotilo quale fonte di magnesio e si propongono anch'essi di riciclare il rifiuto trasformandolo in materiale innocuo.

f.2. Il processo Magram.

Questo processo, meglio conosciuto come Magnesium Recovery from Asbestos Waste Materials è stato oggetto di studi ed elaborazioni dell'Istituto di scienza e tecnologia dell'Università di Manchester (Università di Manchester e UMIST – Manchester Material Science Center), secondo la tecnica classica del processo di fabbricazione del magnesio - magnetherm - attraverso il quale si determina il processo di trasformazione della materia prima contenente magnesio (dolomite e carbonato di magnesio) ed una successiva condensazione dei vapori di risulta.

Il processo utilizza un forno elettrico a due elettrodi (grafite, rame) alimentato a corrente alternata. Il materiale in alimentazione è costituito da allumina disidratata per calcinazione, dalla dolomite sottoposta a calcinazione per la formazione di MgO e dal

ferro-silicio. All'interno del forno il magnesio, contenuto nella materia in fusione a 1550 °C ed alla pressione di 5 kPa, è ridotto dal ferro-silicio ed è prodotto sotto forma di vapore che viene aspirato in un condensatore. Il metallo liquido è recuperato in siviere in forma di lingotti.

Dal fondo del forno è quindi recuperato un residuo metallurgico costituito da silicati di ferro, alluminio e calcio con tracce di magnesio.

La versione del processo sviluppata per il trattamento degli MCA utilizza come materia prima dolomite e materiali contenenti amianto (fibre di amianto, amianto-cemento, scarti dell'industria mineraria ecc.).

In questo processo il forno è di tipo ad arco al plasma che non necessita, nel suo funzionamento, di una composizione del bagno di fusione controllata e lavora a pressione atmosferica. Inoltre la forte densità di energia associata all'arco al plasma permette una fusione rapida della massa all'interno del forno.

Il forno è alimentato in corrente continua con elettrodo di grafite e l'anodo è in contatto con la materia fusa.

La materia prima è costituita da:

- dolomite calcinata (sorgente di CaO e MgO);
- ferro-silicio ed allumina necessari alla reazione di riduzione;
- rifiuti di amianto pretrattati termicamente per evitare la formazione di quantità eccessive di vapor d'acqua;

I vapori di magnesio prodotti dalla reazione di riduzione sono estratti e recuperati in una unità di condensazione in forma liquida. Un'installazione pilota è stata realizzata presso l'Università di Manchester con le seguenti specifiche tecniche:

- potenza del plasma: 300 KW;
- amperaggio massimo: 1500 A
- voltaggio massimo: 200 V
- alimentazione del forno: 135 Kg/h.

L'unità è completata da una zona di trattamento dei fumi.

f.3. Il processo Magnola.

Questo processo è stato sviluppato per trattare i residui dei trattamenti minerari canadesi di crisotilo, attraverso un'associazione di imprese tra le quali la Metallurgia Noranda Inc. (52%), Società Generale de Financement (16%), la società d'ingegneria SNC-Lavallin (16%) e la società giapponese AISIN SEIKI (16%), con la costruzione di una unità di trattamento per la produzione di magnesio per processo elettrolitico sviluppato dalla società Noranda Inc., e con la realizzazione di un impianto pilota presso un sito industriale della filiale di Salabery (Montreal).

g. Trasformazione meccano-chimica.

g.1. Premessa.

I trattamenti meccanici si basano sul principio della distruzione dei reticoli cristallini e dei legami molecolari, con l'immissione di energia capace di demolire l'impalcatura cristallina e di determinare la creazione di un materiale amorfo, simile ad un vetrificato, utilizzabile come catalizzatore nell'industria chimica e in molti prodotti industriali.

Questi tipi di processi sono stati studiati e pensati in Giappone e negli Stati Uniti.

g.2. Il trattamento meccanico-chimico dei rifiuti di amianto.

La trasformazione morfologica e chimica dell'amianto ne determina una sorta di vetrificazione a freddo, con materiali non fibrosi e non reattivi, in assenza totale di emissione, che lo qualifica tra i più efficaci ed economici.

L'ultramacinazione è uno dei processi di maggiore interesse delle moderne tecnologie, che può portare alla produzione di leghe metalliche nel quale utilizzare i materiali così ricavati, e ciò anche per il riciclaggio delle plastiche e di tutti gli altri rifiuti: le molecole e il reticolo cristallino delle componenti del materiale sono sottoposte a forze meccaniche concentrate, con intense sollecitazioni di compressione e taglio, con deformazioni che ne modificano profondamente le caratteristiche fisiche e le proprietà chimiche, con una serie di alterazioni microscopiche e macroscopiche.

Modificazioni irreversibili che vanno dal semplice scorrimento dei piani reticolari con relativa ritorsione, fino alla decristallizzazione e amorfizzazione del solido macinato, con parallelo aumento della reattività superficiale e trasformazioni polimorfiche, con reazioni eterogenee nella superficie delle particelle solide come le reazioni gas-solido di idratazione, ossidazione, assorbimento e decomposizione, con variazioni nella granulometria e morfologia delle particelle che compongono il materiale.

Con il processo di ultramacinazione è possibile inertizzare questi minerali producendo strutture vetrose.

Sono state eseguite delle sperimentazioni sul minerale proveniente da Balangero, e al termine del procedimento è risultato praticamente puro: un campione di crisotilo, ad esempio, è stato macinato per 4, 8, 12, 16 e 20 minuti in un mulino Herzog HSM 100, con una proporzione di 1: 100 rispetto alla massa macinante. Dopo pochi minuti di trattamento non si hanno più tracce di fibre, mentre dal punto di vista cristallografico il materiale prodotto non è più individuabile come amianto.

Si osservano le modificazioni chimico-strutturali che vengono indotte nei minerali di amianto e nei suoi più importanti prodotti derivati a seguito di un'azione di ultramacinazione, meglio definita come meccanochimica.

Le sollecitazioni meccaniche, imposte per compressione e sfregamento, portano ad una rapida distorsione reticolare, ad un'espulsione delle Molecole d'acqua OH e CO₂ e alla formazione di un materiale isotropo e amorfo.

I test di laboratorio evidenziano come tale trattamento sia efficace anche se con tempi differenti, dagli 8 minuti del crisotilo ai 12' degli anfiboli.

La metodica di trattamento esposta risulta quindi estremamente promettente, sia per il suo basso impatto ambientale, dato che non implica emissioni in atmosfera o produzione di reflui inquinanti, sia per il relativo basso costo di esercizio.

h. La procedura attraverso la quale si certifica l'avvenuta trasformazione dell'amianto.

La Commissione nazionale amianto, nel disciplinare tecnico, definisce "*esente da amianto*" il materiale che alle tecniche analitiche fissate dal d.m. 06.09.94 si presenta privo di minerali di amianto, oppure al di sotto dello 0,1 del peso, con le caratteristiche previste dal d.m. 12.02.97, per materiali omologabili, e con analisi che devono essere eseguite presso laboratori idonei, secondo quanto stabilito nel decreto del Ministro della Sanità 14.05.1996.

i. I processi chimico-fisici che portano alla trasformazione completa dei rifiuti contenenti amianto in prodotti non nocivi con possibilità di riutilizzo.

Inutile dire che soltanto la trasformazione completa con possibilità di riutilizzo del materiale rappresenta la migliore opzione per il trattamento dei rifiuti con presenza di amianto e che in Francia con il processo Inertam e in Germania con l'impianto Asbestex, e negli Stati Uniti, con il procedimento di vetrificazione Regency, si è potuta già realizzare.

C'è un disciplinare tecnico che prevede precise condizioni per il reimpiego di materiali provenienti dal trattamento di questi rifiuti, i quali debbono essere "*esenti da amianto*".

Per i trattamenti chimico fisici che distruggono o modificano la struttura cristallina dell'amianto è condizione imprescindibile il possesso delle caratteristiche previste dal d.m. 12.02.97, relativo ai materiali omologabili, che può essere verificato attraverso tecniche analitiche con le quali si verifica la presenza o meno di fibre di amianto, qualitativamente, attraverso la microspia ottica in contrasto di fase (MOCF) e la microscopia elettronica a scansione (SEM) e quantitativamente con la diffrazione a raggi X di polveri (XRD) e la spettrofotometria all'infrarosso mediante trasformata di Fourier (FTIR), con preparazione dei campioni secondo le metodologie di cui al d.m. 06.09.1994, nel quale risulta altresì indicata la frequenza con la quale devono essere effettuati i controlli per stabilire l'assenza di amianto che per ogni test deve essere maggiore o eguale a 20 mc di materiale.

j. Omologazione dei materiali ottenuti dal trattamento dell'amianto.

Con il d.m. 12.02.1997, sono stati dettati i principi ai fini della omologazione dei materiali che possono essere utilizzati benché ottenuti dai trattamenti chimico-fisici di un originario prodotto contenente amianto, e che sono assoggettati ai seguenti requisiti: (a) non devono contenere amianto; (b) né contenere in concentrazione totale > 0,1% le sostanze elencate nell'Allegato 1 al d.m. 16 febbraio 1993 e successive modificazioni che siano classificate "*cancerogene di categoria 1 o 2*" e siano etichettate almeno come tossiche T con la frase di rischio R45 "*Può provocare il cancro*" o con la frase di rischio R49 "*Può provocare il cancro in seguito ad inalazione*", ovvero classificate dalla Commissione consultiva tossicologica nazionale (CCTN) nella categoria 1 o nella categoria 2, ovvero classificate dall'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) nel gruppo 1 o nel gruppo 2a; (c) i materiali con abito fibroso (lunghezza/diametro > 3) devono possedere le seguenti caratteristiche: - diametro geometrico medio ≥ 3 micron e contenuto di fibre con diametro geometrico medio minore di 3 micron in percentuale sul totale delle fibre inferiore al 20%; - non devono contenere fibre che, indipendentemente dal loro diametro, abbiano la tendenza a fratturarsi lungo linee parallele all'asse longitudinale. Qualora contengano fibre che manifestino la tendenza a fratturarsi lungo l'asse longitudinale, devono essere considerati innocui da parte della Commissione consultiva tossicologica nazionale (CCTN) ovvero essere classificati dalla stessa Commissione in categorie diverse dalla 1 e dalla 2 o classificati dall'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) in categorie diverse dalla 1 e dalla 2a; (d) i materiali ottenuti dai trattamenti chimico-fisici dell'amianto non devono dar luogo a rifiuti classificabili come pericolosi a norma del d.lgs. 152/2006 e successive modifiche.

Inoltre per il riutilizzo dei materiali di cui sopra si richiede, oltre al certificato di assenza di amianto rilasciato da CNR, ISPESL e ISS, la definizione delle caratteristiche meccaniche e chimico-fisiche del prodotto.

Attualmente non sono definite in Italia prove specifiche e valori di riferimento per la qualificazione di un materiale ottenuto da un processo di trattamento, requisiti che devono essere chiaramente in relazione alla destinazione d'uso del prodotto, tanto da rendere necessario un auspicato intervento del Legislatore e va in questa direzione il deposito di una proposta di legge¹⁴ presso la Camera dei Deputati.

k. Conclusioni.

Molto c'è ancora da fare in termini di prevenzione primaria, ed in termini di prevenzione secondaria, diagnosi precoce delle patologie asbesto correlate, per cercare di limitare il numero di coloro che nel futuro saranno destinati ad ammalarsi e forse a

¹⁴ Proposta di legge n°4263 presentata il 07.04.2011.

morire.

Nel “*Registro Nazionale dei Mesoteliomi (ReNaM) - Terzo Rapporto, Roma - maggio 2010*”, sono stati così rilevati i dati di preoccupante aumento del numero dei mesoteliomi in Italia:

Tabella: Numero di casi di mesotelioma segnalati al ReNaM per anno di incidenza e regione (Italia, 1993-2004)

	ANNO DI INCIDENZA												Tot.
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	
Piemonte		99	116	133	161	173	169	185	186	193	217	219	1963
Val d'Aosta	0								4	4	4	4	17
Lombardia	0	0	0	0	0	0	0	276	276	182	168	123	1025
Veneto	48	50	71	63	57	73	82	90	88	81	74	79	856
Fiuli Ven.G.	0	0	16	26	14	19	23	77	62	63	57	46	403
Liguria	0	42	72	98	114	122	131	117	131	154	132	133	1246
Emilia-Rom.	21	32	53	76	85	88	79	92	109	125	115	132	1007
Toscana	28	29	42	45	46	66	64	68	76	66	68	66	664
Marche	0	0	0	24	18	17	27	27	30	31	31	27	232
Lazio	0	0	0	0	0	0	0	0	30	39	39	63	171
Abruzzo	0	0	0	1	0	0	0	4	7	4	5	5	26
Campania	2	3	6	23	21	44	30	51	81	82	84	70	497
Puglia	24	29	32	43	44	41	36	34	65	44	56	30	478
Basilicata	0	0	0	0	0	0	0	8	7	3	1	5	24
Calabria	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	4	6
Sicilia	0	0	0	1	4	63	63	84	72	70	78	86	521
Sardegna	0	0	0	0	0	0	0	6	4	5	8	7	30
Totale	235	284	408	533	564	706	704	1120	1229	1146	1138	1099	9166

(*Registro Nazionale dei Mesoteliomi (ReNaM) - Terzo Rapporto, Roma - maggio 2010*)

Il trend è dunque in notevole aumento nel corso degli anni e il picco delle patologie si prevede per il 2015/2020, fino al 2025 e solo a quella data si può ragionevolmente prevedere l’inizio della discesa, in questa drammatica contabilità della morte.

Dunque, se si tien conto del fatto che il solo tumore del polmone incide per il doppio rispetto al numero dei casi di mesotelioma, evidentemente la stima delle associazioni delle vittime dell’amianto in almeno 4.000 vittime ogni anno a causa dell’amianto solo in Italia non può essere revocata in dubbio ed è assolutamente prudenziale rispetto all’effettivo numero dei casi (di mesotelioma sui quali poi innestare le stime per altre patologie neoplastiche, cioè tumori del polmone, etc.) che riteniamo ben maggiori, ove si consideri che il Registro Mesoteliomi non è operativo nella regione Molise e nella provincia autonoma di Bolzano, e che non tutti i casi vengono segnalati (e/o diagnosticati).

Anche quelle che sono le risultanze dell’Inail, seppur parziali, perché non tengono conto del settore del pubblico impiego, e dell’ambito militare, confermano quanto già messo in evidenza dalle Associazioni, e dunque del picco stimato nel 2015, e che a nostro giudizio si protrarrà in modo stabile fino al 2030.

Ecco perché, dunque, è indispensabile la mappatura circa la presenza di amianto secondo quanto disposto dall’art. 20 della l. 23.03.2001, n. 93, e con le modalità di cui al D.M. 18.03.2003, n. 101, nei tempi più ristretti possibili, fermo restando che la norma

risulta priva di un termine finale, e di sanzioni, se non quelle generali a chiusura dell'ordinamento (per quanto riguarda il profilo civilistico), e quelle a tutela della incolumità pubblica e della salute e dell'ambiente (proprie del Codice Penale), per avviare e portare a termine le bonifiche, secondo quanto disposto dalla norma di cui all'art. 4 del D.M. 18.03.2003, n. 101 (in relazione alla norma di cui all'art. 20, l. 93/01), purtroppo anche qui senza un termine finale, con l'auspicio che le norme che regolano la materia, nell'interesse anche delle generazioni future, trovino rispetto ed applicazione, in uno al principio di prevenzione e di precauzione, nella consapevolezza che l'ambiente, se contaminato, e la salute umana, se compromessa, ogni altro diritto e il futuro stesso dell'umanità possono essere destinati a non vedere più la luce¹⁵.

¹⁵ Come illustrato da Ezio Bonanni e Giancarlo Ugazio in *“Patologie ambientali e lavorative. MCS Amianto & Giustizia”*, Ed. Minerva Medica, 2011.