

ANALISI DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA DEI
MATERIALI CONTENENTI AMIANTO, CON
PARTICOLARE ATTENZIONE AI PROCESSI
INNOVATIVI

Dott. Ing. Luigi Di Iorio

Tutor: Dott. Ing. Giuseppe Marella

Cotutor: Dott. Ing. Margherita Galli

Abstract

Il raggiungimento della consapevolezza circa la pericolosità dell'amianto, ha determinato enormi problemi, legati alla necessità di interrompere la produzione dei MCA, oltre a regolarne l'utilizzo e l'eventuale messa in sicurezza. Non tutti i MCA sono pericolosi, ma con il passare del tempo subiscono processi di degradazione progressivi che ne aumentano la friabilità, e di conseguenza la pericolosità, per cui è necessario che siano comunque sottoposti a bonifica.

Le imprese che operano nella rimozione dell'amianto devono rispettare numerosi adempimenti per quanto riguarda la sicurezza nei luoghi di lavoro e le procedure di allestimento dei cantieri.

I metodi per la rimozione e la bonifica dell'amianto sono stabiliti dalla legislazione Italiana e possono essere divisi in interventi su materiali in matrice friabile e su materiali in matrice compatta.

I rifiuti prodotti dalle operazioni di bonifica sono anch'essi contaminati e necessitano di ulteriori trattamenti. Tali trattamenti agiscono sulle caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche dell'amianto e sono mirati all'inertizzazione e/o alla riduzione del volume dei materiali contenenti amianto.

INDICE

INDICE	3
PREMESSA	6
1 INTRODUZIONE	7
2 GENERALITÀ SULL' AMIANTO	7
2.1 Natura, origini e utilizzo dell' Amianto	9
2.2 Caratteristiche e pericolosità dei materiali contenenti amianto (MCA)	13
2.3 Misura della contaminazione da amianto	14
2.4 Valori limite	14
3 RIFERIMENTI NORMATIVI	16
4 CANTIERE DI BONIFICA	18
4.1 Piano di Lavoro	19
4.2 Allestimento del cantiere per la bonifica amianto in matrice compatta.	22
4.3 Allestimento del cantiere per la bonifica amianto in matrice friabile.	22
4.3.1 Confinamento statico	22
4.3.2 Confinamento dinamico	24
4.3.3 Collaudo del cantiere bonifica materiale materiale in matrice friabile.	25
4.3.4 Decontaminazione cantiere per la bonifica in matrice friabile.	26
4.3.5 Protezione dei lavoratori	27
4.3.6 Procedure di accesso all'area di lavoro.	28
4.4 Dispositivi di protezione dei lavoratori	30
4.4.1 Mezzi protettivi vie respiratorie	30
4.4.2 Abbigliamento Protettivo	33
4.4.3 Decontaminazione del cantiere	34
4.5 Monitoraggio ambientale.	36
4.6 Imballaggio dei rifiuti contenenti amianto.	38
4.7 Modalità di allontanamento dei rifiuti dall'area di lavoro.	38
5 TECNICHE DI INTERVENTO MCA	41
5.1 Bonifica Coperture in cemento amianto	41
5.1.1 Rimozione	42

	5.1.2 Incapsulamento	42
	5.1.3 Sovracopertura	43
	5.2 Bonifica Pavimentazione Vinilica con Amianto	43
	5.2.1 Interventi di bonifica dei VA	44
	5.3 Le tecniche d'intervento per i materiali contenenti amianto in matrice friabile	46
	5.3.1 Tecniche di rimozione	47
	5.4 Incapsulanti	52
	5.5 Glove bag	55
	5.6 Tecniche per la Bonifica di grandi strutture coibentate	57
6	BONIFICA DEI SITI INDUSTRIALI DISMESSI	59
	6.1 A - Sopralluogo Ricognitivo	60
	6.2 B - Carotaggio dei terreni per evidenziare eventuali materiali interrati	60
	6.3 C - Analisi dei materiali evidenziati durante le fasi "A" e "B"	61
	6.4 D - Le operazioni di bonifica	61
	6.4.1 I FASE: Eventuale rimozione delle coperture in amianto-cemento.	61
	6.4.2 II FASE: Bonifica degli edifici.....	62
	6.4.3 III FASE: Bonifica delle reti fognarie e delle fosse di decantazione.....	64
	6.4.4 IV FASE: Bonifica dei terreni.....	65
	6.5 Monitoraggi	66
	6.6 E - Certificazione della restituibilità del sito industriale bonificato.....	66
7	TECNICHE INNOVATIVE DI BONIFICA.....	67
	7.1 Rimozione con il sistema Sobijet + Meltron	67
	7.2 Funghi anti amianto – (bonifica terreni attraverso biorimediazione).....	68
	7.3 Rimozione del polverino di amianto in aree non confinate.....	69
	7.4 Smaltimento Amianto Radioattivo	70
8	PROCESSI DI TRATTAMENTO RIFIUTI CONTENENTI AMIANTO	72
	8.1 Trattamenti a freddo	73
	8.2 Procedimenti chimici.....	80
	8.3 Vetrificazione per fusione	86
	8.4 Trattamenti di conversione termica	104
	8.5 Processi metallurgici	115

8.6	Trasformazione meccanochimica.....	118
9	CONCLUSIONI	121
10	BIBLIOGRAFIA	123

PREMESSA

A oltre dieci anni dalla data che ha imposto l'obbligo di cessazione dell'impiego dell'amianto, questo minerale è ancora presente su buona parte del territorio nazionale, con conseguente pericolo per la salute della popolazione che vive o lavora in aree interessate da questo tipo di contaminazione. Il tasso di mortalità collegato alle malattie causate dall'asbesto è in aumento, per questo diventa sempre più necessario applicare attività di bonifica finalizzate ad evitare l'esposizione alle fibre di amianto dei lavoratori e della popolazione residente nelle aree contaminate.

Si è pensato quindi, di realizzare questo studio teso ad analizzare le principali tecnologie attualmente disponibili a livello europeo per il trattamento dei materiali contenenti amianto (MCA) e dei rifiuti contenenti amianto (RCA). In particolare si è cercato di dare spazio a quelli che si è ritenuto siano i metodi più innovativi e meno diffusi per la bonifica dell'amianto e per la riduzione dei volumi dei rifiuti da conferire in discarica; dando maggior risalto a quelle tecnologie che permettono il riutilizzo dell'amianto attraverso la immobilizzazione delle sue fibre.

Nel documento sono illustrati anche i metodi tradizionali di bonifica, ovvero la rimozione, l'incapsulamento la sovracopertura e le procedure necessarie per la realizzazione dei relativi cantieri di bonifica.

1 INTRODUZIONE

I metodi per la rimozione dell'amianto sono stabiliti dalla legislazione Italiana. Con il presente lavoro si è cercato di raggrupparli e organizzarli per tipologia di materiale da bonificare e per tipo di tecnica di rimozione. Per concludere è stato anche considerato lo smaltimento del materiale rimosso, ossia del rifiuto contenente amianto, che si formerà in ogni intervento di bonifica.

2 GENERALITÀ SULL'AMIANTO

Con il termine amianto si definisce un gruppo di minerali caratterizzati da abito cristallino fibroso, particolarmente abbondanti in natura, composti da silicati di calcio, magnesio, ferro e alluminio che presentano la proprietà di sfaldarsi quasi all'infinito, producendo fibre elastiche e molto resistenti all'usura (si consideri che in una sezione di 1 mm di diametro si contano al microscopio circa 26 capelli, 150 fibre di vetro, 10-50.000 fibre di amianto).

Le fibre di amianto "regolamentate" sono quelle particelle fibrose aventi come caratteristiche dimensionali i seguenti parametri:

- lunghezza maggiore di 5 micron
- diametro inferiore ai 3 micron
- il rapporto di allungamento maggiore di 3 (ossia la lunghezza della fibra deve essere 3 volte maggiore del diametro)

Le fibre che rispondono ai criteri dimensionali indicati sono definite “respirabili”, esiste infatti una correlazione tra pericolosità delle fibre e le loro dimensioni in quanto alcune teorie ormai accreditate sostengono che solo le fibre più sottili hanno la capacità di raggiungere gli alveoli polmonari (dove si innescherebbe il meccanismo di cancerogenesi), mentre le altre verrebbero intercettate dai meccanismi di difesa del sistema respiratorio.

TIPOLOGIE DI AMIANTO, COME DALLA DEFINIZIONE DATA DAL D.LGS 277/91 ART.23 PUNTO 1		
Amianto	SERPENTINO Silicato di magnesio, a struttura laminare stratificata. La struttura tubolare è dovuta alla disposizione ottaedrica degli ossidrili di magnesio alternata ai tetraedri di silice	CRISOTILO (amianto bianco) $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ Dal greco: fibra d'oro Si presenta come aggregato fibroso con fibre fragili e flessibili, più o meno lunghe e sottili di colore bianco, tendente al giallo o verde pallido
	ANFIBOLI Silicati di calcio e magnesio che cristallizzano nei sistemi rombico e monoclini. La struttura cristallina è costituita da una doppia catena di tetraedri di silice legata da ioni metallici. Il colore è legato dall'inclusione degli ioni metallici nella struttura cristallina.	ACTINOLITE o ATTINOTO: $Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$ Dal greco: pietra raggiata
		TREMOLITE: $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ Dal nome della Val Tremola in Svizzera
		ANTOFILLITE: $(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$ Dal greco: garofano
		AMOSITE: (amianto bruno) $(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$ Acronimo di “Asbestos Mines of South Africa” Nome commerciale dei minerali grunerite e cummingtonite
	CROCIDOLITE: (amianto blu) $Na_2(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$ Dal greco: fiocco di lana Varietà fibrosa del minerale riebeckite	

2.1 Natura, origini e utilizzo dell'Amianto

Questo esiste allo stato naturale sotto forma di giacimenti situati principalmente in Canada, nell'Africa del sud, nell'ex U.R.S.S. ed in Italia. Per la precisione si deve ricordare che il termine amianto si applica alle fibre bianche e brillanti mentre per le fibre leggermente colorate per la presenza di alluminio o di ossido di ferro bisognerebbe più correttamente parlare di asbesto anche se i due vocaboli vengono usati come sinonimi.

Nel gruppo dell'amianto si possono distinguere sei specie minerali di silicati fibrosi la cui struttura chimica e fisica non è uniforme, ma presentano tutti la proprietà di rompersi in fibre, data la loro struttura cristallina in cui le unità sono fortemente legate in una direzione privilegiata. Tali specie sono divise in due grandi gruppi ; minerali del serpentino e minerali di anfibolo .

Il serpentino che è un composto di silice e magnesio, contenuto nelle rocce metamorfiche fornisce il crisotilo o amianto bianco fino, flessibile, resistente alle alte temperature e può essere filato o intrecciato.

La struttura chimica del crisotilo è quella di un silicato di magnesio idrato contenente tracce non trascurabili di metalli (nickel, cromo, cobalto, manganese) la cui concentrazione varia secondo l'origine geologica del minerale. Le fibre del serpentino hanno una struttura più curva rispetto agli altri amianti.

I minerali di anfibolo sono silicati complessi di ferro, magnesio e calcio (il magnesio predomina sempre sul calcio). Hanno fibre tese e dritte. Essi sono distinguibili in minerali del sistema monoclinico e minerali del sistema rombico. Nel primo gruppo si trovano la crocidolite, l'amosite, la tremolite e l'actinolite.

La caratteristica specifica della crocidolite e dell'amosite è la loro resistenza agli acidi. Per il loro basso peso specifico allo stato nativo, esse sono particolarmente idonee ad essere utilizzate nei materiali per l'isolamento tecnico. Del secondo gruppo fanno parte le antofilliti, impiegate soprattutto in Finlandia, loro paese d'origine.

Comunque i tipi di amianto più importanti dal punto di vista tecnico sono il crisotilo, l'amosite e l'antofillite che rappresentano rispettivamente il 95%-1,4-3,2% e 0,2% dell'amianto totale estratto nel mondo. L'utilizzazione dell'una o dell'altra delle differenti specie di amianto è condizionata dalle specifiche proprietà fisiche, chimiche e meccaniche.

Le **proprietà fisiche e chimiche** più interessanti sono: incombustibilità, resistenza alle alte temperature, alle sostanze chimiche aggressive, ai microorganismi, all'energia elettrica e all'usura meccanica. Esse sono in rapporto alla composizione che varia da una roccia all'altra per quanto concerne la natura dei metalli fissati sulla struttura silicea comune.

Le **proprietà meccaniche** derivano dalle dimensioni della superficie e dalla struttura della fibra. L'elasticità e la resistenza alla trazione sono indipendenti dalla finezza della fibra. La resistenza alla trazione della crocidolite è superiore a quella del crisotilo e molto superiore a quella dell'amosite. Il crisotilo e l'amosite hanno una resistenza alla flessione più o meno uguale, mentre quella della crocidolite è superiore.

L'amianto viene estratto aggregato ad altri minerali mediante coltivazione a cielo aperto o in sotterraneo. Ne vengono estratte oltre 5 milioni di tonnellate all'anno di cui il 2% circa è utilizzabile per la filatura. L'impiego dell'amianto come fibra tessile è certamente l'utilizzazione più antica. Solo con l'invenzione della gomma- amianto e del cemento-amianto, alla fine del XIX

secolo si sviluppò l'impiego delle fibre corte.

L'amianto subisce un primo trattamento in miniera: separazione dell'amianto dalla roccia che lo racchiude mediante selezione manuale (amianto grezzo) o mediante frantumazione, essiccazione, setacciatura, classificazione pneumatica, dissociazione parziale (apertura o messa in fibra dei fasci di fibre di amianto nella macina) o amianto macinato, accurata rimozione della polvere della roccia e di altre impurità, classificazione dell'amianto in base alla lunghezza delle fibre e al grado di apertura raggiunto.

Nell'industria di trasformazione l'amianto subisce una ulteriore lavorazione (trattamento secondario), passando attraverso le seguenti fasi: aerazione dell'amianto compresso nell'imballaggio e nel trasporto; apertura, cioè messa in fibra dell'amianto, mantenendo il più possibile la lunghezza delle fibre e se necessario pulitura e classificazione, cioè rimozione della farina di amianto e rimozione della polvere di talco dalla superficie.

Questi procedimenti di separazione variano a seconda del tipo di industria che procederà alla successiva lavorazione. Per la produzione di filato di amianto la fibra può essere cardata.

Si ritiene che l'amianto sia stato usato da sempre, 2.500 anni fa veniva impiegato in Finlandia per rinforzare i vasi d'argilla usati sul fuoco, anche gli antichi greci lo hanno utilizzato, mentre Plinio il Vecchio ne ricorda le difficoltà della lavorazione e Marco Polo menziona che i tartari lavoravano indumenti incombustibili. Verso il 1880 inizia il vero sfruttamento dei grandi giacimenti russi e canadesi. Dopo il secondo conflitto mondiale l'industria dell'amianto è aumentata con una produzione mille volte superiore agli anni precedenti e gli impieghi industriali sono molti.

La maggior parte del minerale estratto è destinato a produrre cemento-

amianto e il procedimento è basato sulla reciproca affinità dell'amianto e del cemento in presenza d'acqua ottenendo così elementi che trovano applicazioni in coperture, rivestimenti, lastre di supporto per tegole, prodotti stampati come strutture decorative per facciate.

Mediante aggiunta di cariche si possono conferire ai prodotti base qualità supplementari; cellulosa (elementi leggeri per tramezzi, soffitti e sottotetti), silice e rivestimento minerale colorato (colore e durezza per elementi di facciata), silice e cariche refrattarie (norme di sicurezza antincendio).

I tubi e le canalizzazioni rappresentano uno degli sbocchi maggiori del cemento-amianto, specialmente nel settore edilizio.

Nell'industria navale l'amianto è usato per l'isolamento termico e sonoro dei motori, delle differenti strutture delle navi e per i compartimenti a tenuta ignea sotto forma di pannelli.

Anche nell'industria dell'auto si è usato amianto come elemento base per i rivestimenti delle frizioni, per i ferodi dei freni, per i cuscinetti dei freni a disco, per guarnizioni e isolanti nei vari circuiti.

Nelle industrie delle materie plastiche si usa come carica per conferire al prodotto finito qualità particolari (aumento della resistenza, della durata e dell'invecchiamento). Nella fabbricazione di guanti e guarnizioni in cui sono presenti sostanze molto corrosive o gas è largamente impiegata la crocidolite per le sue elevate caratteristiche tecniche.

Dall'inizio del 1995 l'amianto non può più essere estratto, lavorato e usato nella comunità europea a causa della sua accertata azione cancerogena. Al suo posto si stanno utilizzando fibre alternative, molte sono sintetiche , ma si è ancora lontani dall'avere ottenuto prodotti che abbiano le stesse caratteristiche e la stessa economia dell'amianto, inoltre non si conosce ancora la pericolosità

di questi prodotti chimici.

2.2 Caratteristiche e pericolosità dei materiali contenenti amianto (MCA)

Numerosi studi hanno dimostrato che la massiccia inalazione di polvere di fibre di amianto può risultare estremamente pericolosa per la salute dell'uomo, causando malattie come l'asbestosi, il mesotelioma e il cancro del polmone, mentre non risulta che l'amianto sia in grado di determinare azioni tossiche per contatto o ingestione. L'amianto è classificato come cancerogeno dai principali organismi di riferimento tra cui lo IARC International Agency for Research on Cancer e l'ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

Alla fine degli anni '70 esistevano in commercio circa 3000 differenti prodotti contenenti amianto. Una classificazione della pericolosità di tali materiali risulta difficoltosa in quanto condizionata dalle modalità di utilizzo e da numerose caratteristiche intrinseche di tali materiali. E' comunque possibile effettuare una grossolana differenziazione dei MCA in due categorie: i friabili e compatti. I primi, in ragione dell'elevata capacità di disperdere polveri di fibre nell'aria, sono di gran lunga più pericolosi dei secondi nei quali tale fenomeno si manifesta con maggiore difficoltà.

2.3 Misura della contaminazione da amianto

Uno dei criteri principali adottati nella valutazione del rischio amianto, consiste nella determinazione della contaminazione ambientale nelle postazioni di vita o di lavoro. Tale contaminazione deve essere riferita ad un valore che esprime il quantitativo di fibre d'amianto disperse nell'aria. Solitamente, si fa quindi riferimento ad un rapporto di concentrazione che esprime il numero di fibre di amianto presenti in un volume d'aria prestabilito: ff/l (fibre per litro di aria) o ff/cm³ (fibre per centimetro cubo di aria). La misura di questa contaminazione è effettuata con diverse metodologie di prelievo ed analisi; la più comune (ed accessibile) di queste è quella della MOCF (Microscopia Ottica in Contrasto di Fase). In tale metodologia di indagine viene effettuato un prelievo di aria per aspirazione con filtrazione su un'apposita membrana. La membrana è successivamente trattata per essere esaminata al microscopio in contrasto di fase, dove si procede ad un conteggio delle fibre depositate. Il risultato del conteggio, rapportato al volume d'aria prelevato, fornisce il valore di concentrazione ricercato.

2.4 Valori limite

Il valore limite di contaminazione di un determinato agente inquinante non è un valore rappresentativo di una "concentrazione sicura", ma un valore al quale si ritiene che la popolazione considerata possa rimanere esposta senza incrementare in maniera significativa, o socialmente accettabile, la probabilità di ammalarsi a causa dell'esposizione all'agente considerato.

Nel caso dell'amianto, non esistono valutazioni concordi sugli effetti dell'esposizione a basse concentrazioni, il concetto di valore limite non risulterebbe quindi applicabile per questo agente, soprattutto in ragione di due considerazioni:

- l'amianto esiste in natura ed è ubiquitario;
- per i cancerogeni, le moderne teorie riconoscono la non applicabilità dose effetto.

Esistono, in ogni caso, delle fonti normative che hanno fissato dei valori di riferimento, sia per gli ambienti di lavoro che per quelli di vita. I limiti riferiti agli *ambienti di lavoro* indicano valori al di sotto dei quali è bassa la probabilità di ammalarsi di una patologia professionale non cancerogena (es. l'asbestosi), i limiti per gli *ambienti di vita* indicano i valori al di sotto dei quali la probabilità di ammalarsi di una patologia tumorale è socialmente accettabile.

La normativa italiana (D.L.vo 277/91) prevede un **limite d'esposizione professionale** pari a 200 ff/l di amianto. Tale limite di esposizione si applica agli addetti specializzati durante la manipolazione di MCA (bonifica o interventi di manutenzione su MCA). In **ambienti di vita** invece si ritiene che il valore di 20 ff/l (rif. DM 6-9-1994) sia indicativo di una situazione di inquinamento ambientale in atto.

3 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il raggiungimento della consapevolezza circa la pericolosità dell'amianto ha determinato enormi problemi legati alla necessità di interrompere la produzione dei MCA, oltre a regolarne l'utilizzo e l'eventuale messa in sicurezza. Tali difficoltà sono, tra l'altro, testimoniate dall'elevata mole di provvedimenti legislativi (oltre 50 a livello nazionale cui vanno sommate le circolari ed i provvedimenti a livello regionale) che ad oggi disciplinano la materia.

Nell'ambito di tale consistente corpo normativo, è possibile individuare i provvedimenti di maggiore interesse per gli scopi del presente lavoro. Gli estremi ed i contenuti di tali provvedimenti sono riportati in tabella I.

Tabella I: contenuto ed estremi delle principali fonti normative di riferimento.

Provvedimento	Argomento	Principali adempimenti
D.L.vo 277/91	Protezione dei lavoratori da rumore, piombo e amianto	Impone dei limiti di esposizione per le polveri di fibre di amianto in ambiente di lavoro per gli operatori addetti alla manipolazione di MCA. Impone delle procedure autorizzative per le operazioni di bonifica di MCA.
Legge 257/92	Cessazione d'uso dell'amianto	Impone la cessazione della produzione e della commercializzazione dell'amianto e dei prodotti che lo contengono.
D.M. 6/9/94	Norme tecniche per l'attuazione della 257/92	Detta le norme per l'effettuazione della valutazione del rischio, oltre ad una serie di indicazioni di natura tecnica per la messa in sicurezza degli ambienti interessati dalla presenza di MCA.
D.M. 14/5/96 Allegato I	Norme tecniche per l'attuazione della 257/92	Normativa e metodologia tecnica per gli interventi di bonifica dei siti industriali dimessi e dei siti in cui l'eventuale inquinamento da amianto e' determinato dalla presenza di locali adibiti a stoccaggio di materie prime o manufatti o dalla presenza di depositi di rifiuti.
D.M. 26/10/95	Norme tecniche per l'attuazione della 257/92	Normative e metodologie tecniche per la valutazione del rischio, il controllo, la manutenzione e la bonifica dei materiali contenenti amianto presenti nei mezzi rotabili.
D.M. 20/08/99	Norme tecniche per l'attuazione della 257/92	Rivestimenti incapsulanti, criteri di scelta dei dispositivi per la protezione delle vie respiratorie
DM 14/05/96 e DM 7/7/97	Requisiti Laboratori	I due decreti indicano i requisiti minimi per l'effettuazione delle diverse tipologie d'analisi sull'amianto. E' inoltre previsto un programma di controllo per i laboratori abilitati.

4 CANTIERE DI BONIFICA

Le imprese che operano nella rimozione dell'amianto, devono iscriversi all'albo delle imprese esercenti servizi di smaltimento dei rifiuti. Tuttavia, questo tipo di imprese deve rispettare numerosi ed importanti adempimenti per quanto riguarda la sicurezza del lavoro e lo smaltimento dei rifiuti, e in ogni caso lo smaltimento dell'amianto rimosso, deve avvenire sempre in una discarica autorizzata.

Al committente dei lavori di bonifica dell'amianto in ambito edilizio (proprietario dell'edificio, amministratore di condominio, ecc.) competono gli obblighi stabiliti dalle norme sui cantieri temporanei e mobili. In particolare nei cantieri di bonifica di materiali edilizi contenenti amianto sono obbligatorie:

- la notifica preliminare quando intervengono nel cantiere almeno due imprese (anche non contemporaneamente) a prescindere dalla durata presunta dell'intervento di bonifica dell'amianto o dalla durata complessiva del cantiere oppure quando nel cantiere opera un'unica impresa, ma la durata presunta dei lavori supera i 200 uomini-giorno
- la nomina del coordinatore per la progettazione e del coordinatore per l'esecuzione e la predisposizione del piano di sicurezza quando intervengono nel cantiere almeno due imprese (anche non contemporaneamente) a prescindere dalla durata presunta dell'intervento di bonifica dell'amianto o dalla durata complessiva del cantiere

L'impresa che intende effettuare un intervento di rimozione di amianto ha

l'obbligo di presentare, 90 giorni prima dell'inizio dei lavori, un piano di lavoro all'azienda USL territorialmente competente sul luogo dove si svolgerà l'intervento, il quale può richiedere integrazioni, rilasciare prescrizioni vincolanti, nonché consentire l'inizio dei lavori prima della scadenza dei 90 giorni.

4.1 Piano di Lavoro

Gli obblighi di legge che la normativa prevede, in presenza di materiali contenenti amianto nelle attività lavorative, sono di seguito sintetizzati:

a) si dovrà effettuare una valutazione del rischio proveniente dalle fibre di amianto aerodisperse al fine di stabilire le misure preventive e protettive da attuare; tale valutazione dovrà tendere ad accertare l'inquinamento ambientale e a determinare l'esposizione dei lavoratori alle fibre di amianto; la valutazione dovrà essere effettuata con l'ausilio di misurazioni strumentali al fine di verificare che non venga superata la dose di 0.1 fibre c^3 , per un periodo di riferimento di 8 ore. La valutazione dovrà essere effettuata non prima di novanta giorni dalla data dell'effettivo inizio delle attività lavorative non oltre 180 giorni dalla data medesima;

b) si dovrà predisporre un piano di lavoro contenente le misure necessarie per garantire la sicurezza dei lavoratori e la protezione dell'ambiente, prima di iniziare i lavori di manipolazione dei materiali contenenti amianto.

Il piano dovrà prevedere le misure necessarie per garantire:

- la manipolazione dell'amianto;
- adeguate misure per la protezione e la decontaminazione del personale

incaricato dei lavori;

- adeguate misure per la protezione del personale non coinvolto nell'attività e per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti;

- l'adozione, nel caso **si preveda il superamento dei valori limite, pari a 0.6 ff/cc per il crisotilo e 0.2 ff/cc per gli altri amianti espressi come media ponderata in funzione del tempo su un periodo di riferimento di otto ore**, delle seguenti ulteriori prescrizioni:

- fornire ai lavoratori speciali indumenti e mezzi protettivi individuali destinati ad essere usati durante tali lavori;
- provvedere al rigoroso isolamento dell'area di lavoro e all'installazione di adeguati sistemi di ricambio dell'aria con filtri assoluti;
- provvedere all'affissione di appositi cartelli segnaletici, recanti la scritta "attenzione - zona ad alto rischio - possibile presenza di polvere di amianto in concentrazione superiore ai valori limite di esposizione".
- consultare gli organi competenti nella predisposizione del piano di lavoro.

Copia del piano di lavoro verrà inviata preventivamente all'organo di vigilanza, unitamente a informazioni in merito a:

- a) natura dei lavori e loro durata presumibile;
- b) luogo dove i lavori verranno effettuati;
- c) tecniche lavorative che s'intendono utilizzare per la manipolazione dell'amianto;
- d) natura dell'amianto contenuto negli RCA;

e) caratteristiche degli impianti che s'intendono utilizzare per la protezione e la decontaminazione del personale incaricato dei lavori;

f) materiali previsti per le operazioni di manipolazione.

Se l'organo di vigilanza non rilascia prescrizioni entro novanta giorni dall'avvio della documentazione di cui sopra, i lavori potranno essere eseguiti fermi restando gli obblighi di legge.

Dovranno inoltre essere prese misure appropriate affinché:

a) i luoghi in cui si svolgono le attività siano:

- accessibili esclusivamente ai lavoratori che vi debbano accedere a motivo del lavoro o delle loro funzioni.

- oggetto di divieto di fumare.

b) siano predisposte aree speciali che consentano ai lavoratori di mangiare e bere senza rischio di contaminazione di polvere di amianto;

c) siano messi a disposizione dei lavoratori adeguati indumenti e mezzi di protezione;

d) gli indumenti di lavoro e i mezzi protettivi siano riposti in luogo separato da quello destinato agli abiti civili;

e) i lavoratori possano disporre di impianti sanitari adeguati, provvisti di docce destinati al loro uso esclusivo per tutta la durata dell'asportazione e decontaminazione;

f) elencare ed affiggere, nel locale equipaggiato (locale adibito ad indossare gli indumenti protettivi) e nel locale di lavoro e di decontaminazione le procedure di lavoro e di decontaminazione che dovranno essere eseguite dagli

operatori.

4.2 Allestimento del cantiere per la bonifica amianto in matrice compatta.

Le aree in cui avvengono operazioni di rimozione di prodotti in cemento-amianto che devono essere temporaneamente delimitate e segnalate. Si tratta di un cantiere edile a tutti gli effetti con i rischi specifici dovuti all'amianto.

La bonifica delle coperture in cemento-amianto comporta un rischio specifico di caduta, con o senza sfondamento delle lastre. Nel caso di interventi sulle lastre di copertura degli edifici, fermo restando quanto previsto dalle norme antinfortunistiche per i cantieri edili, dovranno in particolare essere realizzate idonee opere provvisorie per la protezione dal rischio di caduta, ovvero adottati opportuni accorgimenti atti a rendere calpestabili le coperture. Le calzature devono essere di tipo idoneo al pedonamento dei tetti.

4.3 Allestimento del cantiere per la bonifica amianto in matrice friabile.

Se nelle operazioni di rimozione dell'amianto è previsto il superamento dei limiti di esposizione, ossia di 0.6 ff/cc per il crisotilo e 0.2 ff/cc per gli altri "amianti", occorre provvedere alla realizzazione di un confinamento artificiale.

4.3.1 *Confinamento statico*

L'area di lavoro deve essere interamente confinata

Tutti gli **oggetti inamovibili** devono essere completamente ricoperti con fogli di plastica di spessore adeguato ed accuratamente sigillati sul posto in modo

tale che non vengano danneggiati e/o contaminati durante il lavoro..

Tutte le **armature per l'illuminazione** presenti devono essere tolte, pulite e sigillate in fogli di plastica e depositate in zona di sicurezza incontaminata.

Devono essere asportati tutti gli equipaggiamenti di ventilazione e riscaldamento e altri **elementi smontabili**, puliti e tolti dalla zona di lavoro.

Devono essere rimossi tutti i **filtri dei sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento**. I filtri sostituiti vanno posti in sacchi sigillati di plastica per essere smaltiti come rifiuti contenenti amianto. I filtri permanenti vanno puliti a umido e reinstallati.

Tutte le **aperture di ventilazione, le attrezzature fisse, gli infissi e radiatori**, devono essere sigillati sul posto, uno per uno, con fogli di plastica chiusi da un nastro adesivo fino a che il lavoro, pulizia compresa, non sarà completato.

Il **pavimento dell'area di lavoro** dovrà essere ricoperto con uno o più fogli di polietilene di spessore adeguato. Le giunzioni saranno unite con nastro impermeabile; la copertura del pavimento dovrà estendersi alla parete per almeno 0,5 metri.

Tutte le **pareti della zona di lavoro** saranno ricoperte con fogli di polietilene di spessore adeguato e sigillate sul posto con nastro a prova di umidità'. Tutte le barriere di fogli di plastica e l'isolamento della zona vanno mantenuti durante tutta la preparazione del lavoro e bisognerà effettuare ispezioni periodiche per assicurare che le barriere siano funzionanti. Tutti i cavedii e le altre possibili comunicazioni per il passaggio di cavi, tubazioni, ecc. devono essere individuati e sigillati. I bordi delle barriere temporanee, i fori e le fessure vanno tamponati con silicone o schiume espansive. Porte e finestre vanno sigillate applicando prima nastro adesivo sui

bordi e coprendole successivamente con un telo di polietilene di superficie piu' estesa delle aperture.

Deve essere predisposta **un'uscita di sicurezza** per consentire una rapida via di fuga, realizzata con accorgimenti tali da non compromettere l'isolamento dell'area di lavoro (ad es. telo di polietilene da tagliare in caso di emergenza).

Deve essere installato un **impianto temporaneo di alimentazione elettrica**, di tipo stagno e collegato alla messa a terra. I cavi devono essere disposti in modo da non creare intralcio al lavoro e non essere danneggiati accidentalmente.

4.3.2 Confinamento dinamico

Per realizzare un efficace isolamento dell'area di lavoro e' necessario, oltre all'installazione delle barriere (confinamento statico), l'impiego di un sistema di estrazione dell'aria che metta in depressione il cantiere di bonifica rispetto all'esterno (confinamento dinamico).

Il sistema di estrazione deve garantire un gradiente di pressione tale che, attraverso i percorsi di accesso al cantiere e le inevitabili imperfezioni delle barriere di confinamento, si verifichi un flusso d'aria dall'esterno verso l'interno del cantiere in modo da evitare qualsiasi fuoriuscita di fibre. Nello stesso tempo questo sistema garantisce il rinnovamento dell'aria e riduce la concentrazione delle fibre di amianto aerodisperse all'interno dell'area di lavoro.

L'aria aspirata deve essere espulsa all'esterno dell'area di lavoro, quando possibile fuori dall'edificio.

L'uscita del sistema di aspirazione deve attraversare le barriere di confinamento; l'integrità delle barriere deve essere mantenuta sigillando i teli

di polietilene con nastro adesivo intorno all'estrattore o al tubo di uscita. L'aria inquinata aspirata dagli estrattori deve essere efficacemente filtrata prima di essere emessa all'esterno del cantiere. Gli estrattori devono essere muniti di un filtro HEPA (alta efficienza: 99.97 DOP).

Gli estrattori devono essere messi in funzione prima che qualsiasi materiale contenente amianto venga manomesso e devono funzionare ininterrottamente (24 ore su 24) per mantenere il confinamento dinamico fino a che la decontaminazione dell'area di lavoro non sia completa. Non devono essere spenti alla fine del turno di lavoro ne' durante le eventuali pause. In caso di interruzione di corrente o di qualsiasi altra causa accidentale che provochi l'arresto degli estrattori, l'attivita' di rimozione deve essere interrotta; tutti i materiali di amianto gia' rimossi e caduti devono essere insaccati finche' sono umidi.

L'estrattore deve essere provvisto di un manometro che consenta di determinare quando i filtri devono essere sostituiti.

Il cambio dei filtri deve avvenire all'interno dell'area di lavoro, ad opera di personale munito di mezzi di protezione individuale per l'amianto. Tutti i filtri usati devono essere insaccati e trattati come rifiuti contaminati da amianto.

4.3.3 Collaudo del cantiere bonifica materiale materiale in matrice friabile.

Dopo che e' stato completato l'allestimento del cantiere, compresa l'installazione dell'unita' di decontaminazione e prima dell'inizio di qualsiasi operazione che comporti la manomissione dell'amianto, i sistemi di confinamento devono essere collaudati mediante prove di tenuta.

a) Prova della tenuta con fumogeni.

Ad estrattori spenti l'area di lavoro viene saturata con un fumogeno e si osservano, dall'esterno del cantiere, le eventuali fuoriuscite di fumo. Occorre ispezionare, a seconda delle situazioni le barriere di confinamento, il perimetro esterno dell'edificio, il piano sovrastante. Tutte le falle individuate vanno sigillate dall'interno.

b) Collaudo della depressione.

Si accendono gli estrattori uno alla volta e si osservano i teli di plastica delle barriere di confinamento: questi devono rigonfiarsi leggermente formando un ventre rivolto verso l'interno dell'area di lavoro. La direzione del flusso dell'aria viene verificata utilizzando fialette fumogene. Il test deve essere effettuato, in particolare, all'esterno del cantiere, in prossimità delle eventuali aperture per l'immissione passiva di aria e nei locali dell'unità di decontaminazione, in condizioni di quiete e durante l'apertura delle porte. Si deve osservare che il fumo venga sempre richiamato verso l'interno dell'area di lavoro. La misura della depressione può essere effettuata con un manometro differenziale, munito di due sonde che vengono collocate una all'interno e l'altra all'esterno dell'area di lavoro.

4.3.4 Decontaminazione cantiere per la bonifica in matrice friabile.

Dovrà essere approntato un sistema di decontaminazione del personale, composto da 4 zone distinte, come qui sotto descritte.

a) Locale di equipaggiamento.

Questa zona avrà due accessi, uno adiacente all'area di lavoro e l'altro adiacente al locale doccia. Pareti, soffitto e pavimento saranno ricoperti con un foglio di plastica di spessore adeguato. Un apposito contenitore

di plastica deve essere sistemato in questa zona per permettere agli operai di riporvi il proprio equipaggiamento prima di passare al locale doccia.

b) Locale doccia.

La doccia sarà accessibile dal locale equipaggiamento e dalla chiusa d'aria. Questo locale dovrà contenere come minimo una doccia con acqua calda e fredda e sarà dotato ove possibile di servizi igienici. Dovrà essere assicurata la disponibilità continua di sapone in questo locale. Le acque di scarico delle docce devono essere convenientemente filtrate prima di essere scaricate.

c) Chiusa d'aria.

La chiusa d'aria dovrà essere costruita tra il locale doccia ed il locale spogliatoio incontaminato. La chiusa d'aria consisterà in uno spazio largo circa 1.5 m con due accessi. Uno degli accessi dovrà rimanere sempre chiuso: per ottenere ciò è opportuno che gli operai attraversino la chiusa d'aria uno alla volta.

d) Locale incontaminato (spogliatoio).

Questa zona avrà un accesso dall'esterno (aree incontaminate) ed un'uscita attraverso la chiusa d'aria. Il locale dovrà essere munito di armadietti per consentire agli operai di riporre gli abiti dall'esterno. Quest'area servirà anche come magazzino per l'equipaggiamento pulito.

4.3.5 Protezione dei lavoratori

Prima dell'inizio dei lavori, gli operai devono venire istruiti ed informati sulle tecniche di rimozione dell'amianto, che dovranno includere un

programma di addestramento all'uso delle maschere respiratorie, sulle procedure per la rimozione, la decontaminazione e la pulizia del luogo di lavoro. Nel locale dell'equipaggiamento e nel locale di pulizia, dovranno essere elencate ed esposte, le procedure di lavoro e di decontaminazione che dovranno essere seguite dagli operai.

Gli operai devono essere equipaggiati con adatti dispositivi di protezione individuali delle vie respiratorie, devono inoltre essere dotati di un sufficiente numero di indumenti protettivi completi. Questi indumenti saranno costituiti da tuta e copricapo. Gli indumenti a perdere e le coperture per i piedi devono essere lasciati nella stanza dell'equipaggiamento contaminato sino al termine dei lavori di bonifica dell'amianto, ed a quel punto dovranno essere immagazzinati come gli scarti dell'amianto. Tutte le volte che si lascia la zona di lavoro e' necessario sostituire gli indumenti protettivi con altri incontaminati. E' necessario che gli indumenti protettivi siano:

- di carta o tela plastificata a perdere. In tal caso sono da trattare come rifiuti inquinanti e quindi da smaltire come i materiali di risulta provenienti dalle operazioni di bonifica;
- di cotone o altro tessuto a tessitura compatta (da pulire a fine turno con accurata aspirazione, porre in contenitori chiusi e lavare dopo ogni turno a cura della impresa o in lavanderia attrezzata);
- sotto la tuta l'abbigliamento deve essere ridotto al minimo (un costume da bagno o biancheria a perdere).

4.3.6 Procedure di accesso all'area di lavoro.

Accesso alla zona: ciascun operaio dovrà togliere gli indumenti nel locale spogliatoio incontaminato ed indossare un respiratore dotato di filtri efficienti ed indumenti protettivi, prima di accedere alla zona di equipaggiamento ed accesso all'area di lavoro.

Uscita dalla zona di lavoro: ciascun operaio dovrà ogni volta che lascia la zona di lavoro, togliere la contaminazione più evidente dagli indumenti prima di lasciare l'area di lavoro, mediante un aspiratore; proseguire verso la zona dell'equipaggiamento, adempiere alle procedure seguenti:

- togliere tutti gli indumenti eccetto il respiratore;
- sempre indossando il respiratore e nudi, entrare nel locale doccia, pulire l'esterno del respiratore con acqua e sapone;
- togliere i filtri sciacquarli e riporli nel contenitore predisposto per tale uso;
- lavare ed asciugare l'interno del respiratore.

Dopo aver fatto la doccia ed essersi asciugato, l'operaio proseguirà verso il locale spogliatoio dove indosserà gli abiti per l'esterno alla fine della giornata di lavoro, oppure tute pulite prima di mangiare, fumare, bere o rientrare nella zona di lavoro. I copripiedi contaminati devono essere lasciati nel locale equipaggiamento quando non vengono usati nell'area di lavoro. Al termine del lavoro di rimozione trattarli come scarti contaminati oppure pulirli a fondo, sia all'interno che all'esterno usando acqua e sapone, prima di spostarli dalla zona di lavoro o dalla zona di equipaggiamento. Immagazzinare gli abiti da lavoro nel locale equipaggiamento per il riutilizzo dopo averli decontaminati con un aspiratore, oppure metterli nel contenitore per il deposito assieme agli altri materiali contaminati da amianto. Gli operai non devono mangiare, bere,

fumare sul luogo di lavoro, fatta eccezione per l'apposito locale incontaminato. Gli operai devono essere completamente protetti, con idoneo respiratore ed indumenti protettivi durante la preparazione dell'area di lavoro prima dell'inizio della rimozione dell'amianto e fino al termine delle operazioni conclusive di pulizia della zona interessata.

4.4 Dispositivi di protezione dei lavoratori

Negli ambienti ove si eseguono attività lavorative che comportano il superamento dei valori limite previsti dalla legge si devono sempre indossare i mezzi di protezione.

I **mezzi protettivi** da utilizzare devono essere definiti sulla base del rischio di diffusione di fibre connesso all'attività svolta e vanno indossati negli appositi spogliatoi prima di accedere alla zona contaminata o potenzialmente contaminata.

I mezzi di protezione potranno essere monouso o del tipo riutilizzabile; al termine del turno di lavoro i mezzi di protezione contaminati non a perdere saranno recuperati per la necessaria decontaminazione mentre quelli monouso saranno considerati RCA.

I mezzi di protezione si distinguono in:

- mezzi protettivi delle vie respiratorie;
- abbigliamento protettivo

4.4.1 Mezzi protettivi vie respiratorie

Gli **apparecchi di protezione** delle vie respiratorie o respiratori che possono

essere utilizzati nelle attività di manipolazione degli RCA devono essere adatti per ambienti inquinati da particelle.

I respiratori sono suddivisi in due classi (cfr. UNI EN 133):

- respiratori dipendenti dall'atmosfera ambiente o respiratori a filtro;
- respiratori indipendenti dall'atmosfera ambiente o respiratori isolati.

I criteri di scelta dei dispositivi di protezione individuale per le vie respiratorie, sono illustrati nell'allegato 3 del decreto del Ministero della Sanità 20 agosto 1999, Ampliamento delle normative e delle metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, ivi compresi quelli per rendere innocuo l'amianto, previsti dall'art. 5, comma 1, lettera f), della legge 27 marzo 1992, n. 257, recante norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto.

Tale decreto, tralasciando i respiratori isolanti, tratta in particolare dei respiratori a filtro.

I respiratori a filtro contro il materiale particellare (e fibroso) possono essere di vario tipo e, a seconda del tipo, diverso è il grado di protezione offerto.

I respiratori filtro sono in grado di rimuovere una limitata concentrazione di contaminanti dall'aria da inspirare e non possono essere utilizzati in atmosfere con insufficienza di ossigeno.

Tra questi non si ritiene proponibile l'utilizzo dei facciali filtranti in quanto non ritenuti adeguati all'impiego nelle attività di manipolazione dall'amianto da vari organismi internazionali.

Sono consentiti i respiratori costituiti da un facciale con uno o più filtri connessi. Nei respiratori a filtro, l'aria da inspirare passa attraverso un filtro che trattiene le fibre di amianto. Nelle attività di manipolazione dell'amianto

devono essere usati filtri antipolvere di alta efficienza (classe P3 - UNI N 143); se nelle attività di manipolazione si rendesse necessaria anche la protezione ai gas, saranno utilizzati filtri combinati UNI EN 141 con protezione antipolvere P3.

I **respiratori a filtro** possono essere di tipo assistito o non assistito e sono suddivisi in:

- respiratori a semimaschera;
- respiratori a maschera intera;
- respiratori a cappuccio o elmetto (solo assistiti).

Il respiratore a semimaschera intera a pressione negativa UNI EN 140, dotato di filtri antipolvere di alta efficienza può essere usato per concentrazioni di fibre di amianto fino a 2 ff/cc.

Il respiratore a maschera intera a pressione negativa UNI EN 136, assicura anche la protezione degli occhi e, fornendo un grado di protezione più elevato del precedente, può essere usato per concentrazioni di fibre di amianto fino a 10 ff/cc.

Nei respiratori a filtro assistito la pressione (positiva) necessaria per la filtrazione viene fornita da un ventilatore portatile alimentato a batteria in grado di assicurare una portata di aria superiore a 120 l/min (cfr. UNI EN 146 e UNI EN 147). Questi respiratori possono essere del tipo a semimaschera, a maschera intera, a cappuccio o elmetto e possono essere usati per concentrazioni di fibre di amianto inferiori a 20 ff/cc.

I respiratori isolati si suddividono in respiratori non autonomi e respiratori autonomi.

I respiratori isolati non autonomi sono costituiti da un facciale che può essere del tipo a semimaschera, a maschera intera e a cappuccio o elmetto connessi normalmente ad una rete di distribuzione di aria mediante un tubo di respirazione più o meno lungo. Possono essere a flusso continuo con portata di aria superiore a 120 l/min (crf. UNI EN 146 e UNI EN 147) a pressione positiva o a dosaggio automatico con erogatore a domanda e sono impiegabili per concentrazioni di fibre di amianto inferiori a 20 ff/cc; questi ultimi qualora siano dotati di filtri antipolvere ad alta efficienza (classe P3) o di bombole di aria compressa per far fronte ai casi di mancata alimentazione di aria per guasto possono essere impiegati rispettivamente per concentrazioni fino a 200 ff/cc o superiori.

I respiratori autonomi o autorespiratori sono provvisti di una scorta separata di aria che consente all'operatore di non dipendere dall'atmosfera circostante e quindi possono essere utilizzati sia in atmosfere pericolose per la salute e la vita dell'uomo che in condizioni di carenza di ossigeno e pertanto possono essere utilizzati per qualsiasi concentrazione di fibre di amianto.

I mezzi protettivi delle vie respiratorie devono essere provati prima di ogni utilizzo per verificarne la rispondenza ai dati di targa.

4.4.2 Abbigliamento Protettivo

Durante le attività in presenza di amianto si deve indossare un adeguato abbigliamento protettivo.

L'abbigliamento protettivo deve minimizzare il deposito delle fibre di amianto sulla pelle e sui capelli che possono costituire veicolo della diffusione delle fibre.

L'abbigliamento protettivo deve pertanto ridurre il più possibile le parti del corpo scoperte e generalmente è costituito da tuta intera, soprascarpe, copritesta o cappuccio e guanti del tipo a perdere.

Le giunzioni dell'abbigliamento saranno sigillate mediante nastratura adesiva.

Sotto l'abbigliamento protettivo deve essere indossata biancheria intima anch'essa possibilmente di tipo a perdere.

Gli operatori, prima di indossare l'abbigliamento protettivo dovranno togliersi qualsiasi oggetto non strettamente necessario all'attività di manipolazione.

È compatibile con l'abbigliamento protettivo l'uso di caschi, scarpe antinfortunistiche, stivali, guanti, ginocchiere etc. che saranno conservati nell'area di lavoro e potranno essere evacuati solo dopo radicale decontaminazione o saranno considerati RCA al termine del periodo di vita utile e/o nel caso di monouso.

4.4.3 Decontaminazione del cantiere.

Durante i lavori di rimozione e' necessario provvedere a periodiche pulizie della zona di lavoro dal materiale di amianto. Questa pulizia periodica e l'insaccamento del materiale impedirà una concentrazione pericolosa di fibre disperse.

Tutti i fogli di plastica, i nastri, il materiale di pulizia, gli indumenti ed altro materiale a perdere utilizzato nella zona di lavoro dovranno essere imballati in sacchi di plastica sigillabili e destinati alla discarica.

Bisogna fare attenzione nel raccogliere la copertura del pavimento per ridurre il piu' possibile la dispersione di residui contenenti amianto. I sacchi saranno

identificati con etichette di segnalazione pericolo a norma di legge. I fogli di polietilene verticali ed orizzontali dovranno essere trattati con prodotti fissanti e successivamente rimossi per essere insaccati come i rifiuti di amianto. Bisogna fare attenzione nel ripiegare i fogli per ridurre il piu' possibile la dispersione di eventuali residui contenenti amianto. I singoli fogli di plastica messi su tutte le aperture, i condotti di ventilazione, gli stipiti, i radiatori, devono rimanere al loro posto. I fogli verticali, a copertura delle pareti devono essere mantenuti fino a che non e' stata fatta una prima pulizia. Tutte le superfici nell'area di lavoro, compreso i mobili, gli attrezzi ed i fogli di plastica rimasti dovranno essere puliti usando una segatura bagnata ed un aspiratore con filtri tipo Vacuum Cleaner.

L'acqua, gli stracci e le ramazze utilizzati per la pulizia devono essere sostituiti periodicamente per evitare il propagarsi delle fibre di amianto. Dopo la prima pulizia, i fogli verticali rimasti devono essere tolti con attenzione ed insaccati, come pure i fogli che coprono le attrezzature per la illuminazione, gli stipiti, ecc.

L'area di lavoro deve essere nebulizzata con acqua o una soluzione diluita di incapsulante in modo da abbattere le fibre aerodisperse.

Conclusa la seconda operazione di pulizia, dovra' essere effettuata un'ispezione visiva di tutta la zona di lavoro (su tutte le superfici, incluse le travi e le impalcature) per assicurarsi che l'area sia sgombra da polvere. Se, dopo la seconda pulizia ad umido, sono visibili ancora dei residui, le superfici interessate devono essere nuovamente pulite ad umido.

Le zone devono essere lasciate pulite a vista. Ispezionare tutti i condotti, specialmente le sezioni orizzontali per cercare eventuali residui contenenti amianto, e aspirarli usando un aspiratore a vuoto.

10 - Protezione delle zone esterne all'area di lavoro.

Nello svolgimento del lavoro dovranno essere prese tutte le precauzioni per proteggere le zone adiacenti non interessate dalla contaminazione da polvere o detriti contenenti amianto.

Giornalmente dovrà essere fatta la pulizia, con aspirazione a secco o con metodo ad umido, di qualsiasi zona al di fuori dell'area di lavoro o di passaggio che sia stata contaminata da polvere o da altri residui conseguenti al lavoro fatto.

4.5 Monitoraggio ambientale.

Durante l'intervento di bonifica dovrà essere garantito a carico del committente dei lavori un monitoraggio ambientale delle fibre aerodisperse nelle aree circostanti il cantiere di bonifica al fine di individuare tempestivamente un'eventuale diffusione di fibre di amianto nelle aree incontaminate.

Il monitoraggio deve essere eseguito quotidianamente dall'inizio delle operazioni di disturbo dell'amianto fino alle pulizie finali. Devono essere controllate in particolare:

- le zone incontaminate in prossimità delle barriere di confinamento;
- l'uscita del tunnel di decontaminazione o il locale incontaminato dello spogliatoio.

Campionamenti sporadici vanno effettuati all'uscita degli estrattori, all'interno dell'area di lavoro e durante la movimentazione dei rifiuti. I risultati devono essere noti in tempo reale o, al massimo, entro le 24 ore successive.

Per questo tipo di monitoraggio si adotteranno tecniche analitiche di MOCF.

Sono previste due soglie di allarme:

1) Preallarme - Si verifica ogni qual volta i risultati dei monitoraggi effettuati all'esterno dell'area di lavoro mostrano una netta tendenza verso un aumento della concentrazione di fibre aerodisperse;

2) Allarme - Si verifica quando la concentrazione di fibre aerodisperse supera il valore di 50 ff/l.

Lo stato di preallarme prevede le seguenti procedure:

- sigillatura di eventuali montacarichi (divieto di entrata e di uscita);
- sospensione delle attività in cantiere e raccolta di tutto il materiale rimosso;
- ispezione delle barriere di confinamento;
- nebulizzazione all'interno del cantiere e all'esterno nella zona dove si è rilevato l'innalzamento della concentrazione di fibre;
- pulizia impianto di decontaminazione;
- monitoraggio (verifica).

Lo stato di allarme prevede le stesse procedure di preallarme, più:

- comunicazione immediata all'autorità competente (USL);
- sigillatura ingresso impianto di decontaminazione;
- accensione estrattore zona esterna;
- nebulizzazione zona esterna con soluzione incollante;
- pulizia pareti e pavimento zona esterna ad umido con idonei materiali;
- monitoraggio.

4.6 Imballaggio dei rifiuti contenenti amianto.

L'imballaggio deve essere effettuato con tutti gli accorgimenti atti a ridurre il pericolo di rotture accidentali. Tutti i materiali devono essere avviati al trasporto in doppio contenitore, imballando separatamente i materiali taglienti.

Il primo contenitore deve essere un sacco di materiale impermeabile (polietilene), di spessore adeguato (almeno 0.15 mm); come secondo contenitore possono essere utilizzati sacchi o fusti rigidi.

I sacchi vanno riempiti per non più di due terzi, in modo che il peso del sacco non ecceda i 30 kg.

L'aria in eccesso dovrebbe essere aspirata con un aspiratore a filtri assoluti; la chiusura andrebbe effettuata a mezzo termosaldatura o doppio legaccio.

Tutti i contenitori devono essere etichettati.

L'uso del doppio contenitore è fondamentale, in quanto il primo sacco, nel quale l'amianto viene introdotto appena rimosso all'interno del cantiere, è inevitabilmente contaminato. Il secondo contenitore non deve mai essere portato dentro l'area di lavoro, ma solo nei locali puliti dell'unità di decontaminazione.

4.7 Modalità di allontanamento dei rifiuti dall'area di lavoro.

L'allontanamento dei rifiuti dall'area di lavoro deve essere effettuato in modo da ridurre il più possibile il pericolo di dispersione di fibre. A tal fine il materiale viene insaccato nell'area di lavoro e i sacchi, dopo la chiusura e una

prima pulizia della superficie, vanno portati nell'unita' di decontaminazione.

Quando cio' sia possibile e' preferibile che venga installata una Unità di decontaminazione destinata esclusivamente al passaggio dei materiali. Questa deve essere costituita da almeno tre locali: il primo e' un'area di lavaggio dei sacchi; il successivo e' destinato al secondo insaccamento; nell'ultimo locale i sacchi vengono depositati per essere successivamente allontanati dall'area di lavoro.

All'interno dell'unita' operano due distinte squadre di lavoratori: la prima provvede al lavaggio, al secondo insaccamento ed al deposito dei sacchi; la seconda entra dall'esterno nell'area di deposito e porta fuori i rifiuti. La presenza di due squadre e' necessaria per impedire che i lavoratori provenienti dall'area di lavoro escano all'esterno indossando indumenti contaminati, provocando cosi' un'inevitabile dispersione di fibre.

Nessun operatore deve mai utilizzare questo percorso per entrare o uscire dall'area di lavoro. A tal fine e' opportuno che l'uscita dei sacchi avvenga in un'unica fase, al termine delle operazioni di rimozione e che, fino a quel momento, il percorso rimanga sigillato.

Quando venga utilizzato per l'evacuazione dei materiali l'U.D. destinata agli operatori il lavaggio dei sacchi deve avvenire nel locale doccia, il secondo insaccamento nella chiusa d'aria, mentre il locale incontaminato sara' destinato al deposito. In tali casi dovranno essere previste tre squadre di operatori: la prima introduce i sacchi dall'area di lavoro nell'unita', la seconda esegue le operazioni di lavaggio e insaccamento all'interno dell'unita', la terza provvede all'allontanamento dei sacchi. In entrambi i casi tutti gli operatori, tranne quelli addetti all'ultima fase di allontanamento, devono essere muniti di

mezzi di protezione e seguire le procedure di decontaminazione per uscire dall'area di lavoro.

I sacchi vanno movimentati evitando il trascinamento; e' raccomandato l'uso di un carrello chiuso. Ascensori e montacarichi, eventualmente utilizzati, vanno rivestiti con teli di polietilene, in modo che possano essere facilmente decontaminati nell'eventualita' della rottura di un sacco. Il percorso dal cantiere all'area di stoccaggio in attesa del trasporto in discarica deve essere preventivamente studiato, cercando di evitare, per quanto possibile, di attraversare aree occupate dell'edificio.

Fino al prelevamento da parte della ditta autorizzata al trasporto, i rifiuti devono essere depositati in un'area all'interno dell'edificio, chiusa ed inaccessibile agli estranei. Possono essere utilizzati in alternativa anche container scarrabili, purché chiusi anche nella parte superiore e posti in un'area controllata.

5 TECNICHE DI INTERVENTO MCA

5.1 Bonifica Coperture in cemento amianto

Nelle lastre piane o ondulate in amianto-cemento, utilizzate per copertura in edilizia, l'amianto è inglobato in una matrice non friabile, che, quando è in buono stato di conservazione, impedisce il rilascio spontaneo di fibre. Dopo anni dall'installazione, tuttavia, le coperture esposte ad agenti atmosferici, subiscono un deterioramento, per azione delle piogge acide, degli sbalzi termici, dell'erosione eolica e di microrganismi vegetali, che determina alterazioni corrosive superficiali con affioramento delle fibre e fenomeni di liberazione.

Nelle coperture in amianto-cemento, la liberazione di fibre avviene facilmente in corrispondenza di rotture delle lastre e di aree dove la matrice cementizia è corrosa. Le fibre rilasciate sono disperse dal vento e, in misura ancora maggiore sono trascinate dalle acque piovane, raccogliendosi nei canali di gronda o venendo diffuse nell'ambiente dagli scarichi di acque piovane non canalizzate. Lo stato di degrado delle coperture e le condizioni per cui le fibre rilasciate possano essere trasportate dal vento o dalle acque piovane all'interno dell'edificio o in prossimità di aree abitate, costituiscono elementi determinanti per valutare il rilascio di fibre potenzialmente inalabili.

La bonifica delle coperture in cemento-amianto viene necessariamente effettuata in ambiente aperto, non confinabile, e, pertanto, deve essere condotta limitando il più possibile la dispersione di fibre. Gli interventi che

possono essere eseguiti su questa tipologia di materiale sono i seguenti: rimozione, incapsulamento e sovracopertura.

5.1.1 Rimozione

Le operazioni di rimozione delle lastre di copertura devono essere condotte salvaguardando l'integrità del materiale in tutte le fasi dell'intervento, che possono così riassumersi: rimozione dei chiodi di fissaggio, evitando la rottura delle lastre, palettizzazione delle lastre e disposizione dei bancali con le lastre in zona appartata e non transitabile per gli automezzi. I bancali con le lastre in cemento-amianto dovranno essere avvolti in film di polietilene di adeguato spessore, etichettati, e tramite un trasportatore autorizzato verranno conferite in discarica autorizzata unitamente al materiale d'uso (tute, filtri, materiale aspirato), anch'esso insaccato e sigillato. Tale tipologia di intervento comporta la produzione di notevoli quantità di rifiuti contenenti amianto che devono essere correttamente smaltiti e la necessità di installare una nuova copertura in sostituzione del materiale rimosso.

5.1.2 Incapsulamento

Alternativa alla rimozione delle coperture vi è l'impiego di prodotti impregnanti, che penetrano nel materiale legando le fibre di amianto tra loro e con la matrice cementizia, e prodotti ricoprenti, che formano una spessa membrana sulla superficie del manufatto. L'incapsulamento richiede necessariamente un trattamento preliminare della superficie del manufatto, al fine di pulirla e di garantire l'adesione del prodotto incapsulante. Il trattamento deve essere effettuato con attrezzature idonee che evitino la

liberazione di fibre di amianto nell'ambiente e consentano il recupero ed il trattamento delle acque di lavaggio. (vedere paragrafo 5.4)

5.1.3 Sovracopertura

Il sistema della sovracopertura consiste in un intervento di confinamento realizzato installando una nuova copertura al di sopra di quella in cemento-amianto, che viene lasciata in sede quando la struttura portante sia idonea a sopportare un carico permanente aggiuntivo. L'installazione comporta generalmente operazioni di foratura dei materiali di cemento-amianto, per consentire il fissaggio della nuova copertura e delle infrastrutture di sostegno, che determinano liberazione di fibre di amianto. La superficie inferiore della copertura in cemento-amianto non viene confinata e rimane, quindi, eventualmente accessibile dall'interno dell'edificio, in relazione alle caratteristiche costruttive del tetto.

Nel caso dell'incapsulamento e della sovracopertura si rendono necessari controlli ambientali periodici ed interventi di normale manutenzione per conservare l'efficacia e l'integrità dei trattamenti stessi.

5.2 Bonifica Pavimentazione Vinilica con Amianto

La presenza di pavimenti in vinil-amianto (VA) negli edifici a prevalente uso pubblico e' ancora molto diffusa. Tra il 19869 e il 1980 tale materiale, di basso costo e di rapida messa in opera, e' stato largamente usato soprattutto per la pavimentazione di edifici pubblici, scuole, ospedali ed anche di alloggi popolari.

La produzione di tali materiali consiste nella miscela di resine di PVC, copolimeri, leganti inorganici, pigmenti e amianto; il materiale viene scaldato e, quando la miscela raggiunge la temperatura e la plasticità desiderate, viene laminato fino allo spessore richiesto e quindi tagliato in piastrelle.

La letteratura è orientata verso la tesi secondo cui i pavimenti in VA di per se' non costituiscono un problema urgente di salute pubblica e che i lavori di rimozione condotti con procedure e tecniche di facile applicazione, sono in grado di evitare la contaminazione ambientale da parte di fibre di amianto.

5.2.1 Interventi di bonifica dei VA

In generale i materiali in VA si presentano in piastrelle, di solito di misura 30 x 30 o 40 x 40 cm; pertanto i pavimenti posati in rotoli difficilmente contengono amianto. Tali piastrelle si presentano solitamente dure, difficilmente scalfibili; se vengono piegate si spezzano di netto.

Per tali motivi non e' possibile un riconoscimento diretto, "a vista", del contenuto in amianto o meno del pavimento. Esistono piastrelle in VA del tutto simili nell'aspetto esteriore a quelle prive di amianto. Pertanto nella maggioranza dei casi si impone il campionamento del materiale.

In condizioni normali, l'entità del rilascio di fibre libere da parte di un pavimento in VA e' molto contenuta, se non assente. Come detto precedentemente, la rimozione di materiali contenenti amianto deve essere preceduta dalla presentazione del piano di lavoro.

A tutt'oggi non sono disponibili protocolli per la rimozione di pavimenti in VA. Tuttavia esperienze riportate in letteratura indicano le seguenti misure

precauzionali da seguire nell'esecuzione di tali lavori.

- I lavori devono essere eseguiti in assenza di utenti, anche nei locali limitrofi.
- Prima di procedere alla rimozione dei pavimenti, i vani devono essere segregati e deve essere posta sulle entrate idonea cartellonistica di avvertimento sui lavori in corso e di divieto di accesso. Le finestre e le porte devono restare chiuse fino a bonifica terminata.
- Le parti non spostabili (termosifoni, bancali delle finestre, eventuali attrezzature, ecc.) devono essere rivestite con teli di politene.
- I pavimenti, nello stato attuale, devono essere accuratamente puliti ad umido, con stracci bagnati.
- In tutte le lavorazioni a contatto coi materiali contenenti amianto i lavoratori devono essere equipaggiati con tuta monouso dotata di cappuccio, in tyvek e semimaschera munita di filtro P2 o facciale filtrante FFP2.
- Il sollevamento delle piastrelle deve avvenire con strumenti manuali, tipo spatola, cercando di sollevare le piastrelle una ad una, evitando di romperle. Non e' consentito l'utilizzo di strumenti elettrici ad alta velocità.
- Durante la rimozione delle piastrelle, un lavoratore, appositamente addetto, deve costantemente mantenere bagnata la superficie inferiore della piastrella con una soluzione vinilica al 5%, colorata, a spruzzo, utilizzando una pompa a mano o anche semplicemente uno spruzzatore per piante.
- Ogni 30-40 piastrelle levate, queste devono essere subito confezionate in

pacchetti, rivestiti con polietilene e chiusi con nastro adesivo. I pacchetti verranno successivamente insaccati in big-bags contrassegnati a norma.

- Eventuali residui sul sottofondo devono essere trattati con la soluzione vinilica e, una volta asciugati, raschiati con cura e aspirati con aspiratore dotato di filtro assoluto.

Al termine del prelievo delle mattonelle, il sottofondo messo a nudo deve essere nuovamente pulito con stracci bagnati.

Al termine dei lavori le attrezzature utilizzate dovranno essere accuratamente pulite ad umido.

5.3 Le tecniche d'intervento per i materiali contenenti amianto in matrice friabile

I meccanismi fondamentali in base ai quali i materiali friabili contenenti amianto rilasciano fibre nell'ambiente sono:

- il fallout, cioè il distacco dal materiale delle fibre legate più debolmente che si verifica nelle normali condizioni di attività. Si tratta di un fenomeno di entità relativamente scarsa, ma costante, dovuto alle sollecitazioni a cui è sottoposto il materiale per i movimenti dell'aria e le vibrazioni delle strutture.
- l'impatto, cioè ogni contatto diretto col materiale che causa una dispersione di fibre.
- la dispersione secondaria, cioè il risollevarsi in aria delle fibre rilasciate in conseguenza del fallout e degli impatti, causato dalle attività di pulizia, dal movimento delle persone e dalla circolazione dell'aria.

I materiali di tipo friabile sono generalmente intonaci di rivestimento di superfici, applicati a spruzzo o a cazzuola, a scopo antincendio, antiacustico o anticondensa. Sono costituiti da miscele di fibre di amianto con leganti di varia natura che si presentano - a seconda della natura del legante e della percentuale di fibre - come un materiale spugnoso o lanuginoso, estremamente soffice e friabile, piuttosto spesso (fino a parecchi centimetri); oppure come un materiale dall'aspetto più compatto, di consistenza variabile, di spessore in genere non superiore a 1-2 cm.

5.3.1 Tecniche di rimozione.

A meno di specifiche controindicazioni tecniche, di norma, la rimozione dell'amianto deve avvenire ad umido.

Il rivestimento deve essere bagnato fino in profondità, sia per prevenire una imponente areodispersione di fibre nell'area di lavoro che per rendere l'asportazione dal supporto più agevole.

Infatti, la soluzione imbibente oltre che appesantire il rivestimento, rendendo più facile il distacco, scioglie i legami chimici fra il collante contenuto nell'impasto del rivestimento e il supporto.

La capacità intrinseca di un rivestimento di essere completamente imbibito¹ è influenzata, oltre che dal suo spessore, dal tipo di amianto² di cui è costituito, dalla natura della matrice con cui è impastato l'amianto nonché dalla tecnica con cui è stato applicato.

¹ *Imbibilità: capacità di un materiale di assorbire liquidi .*

² *ad esempio l'amosite si bagna molto peggio degli altri amianti;*

Tecnica imbibizione superficiale

La rimozione generalmente risulta abbastanza agevole:

- con rivestimenti scarsamente incollati al supporto;
- con supporti a superficie liscia ed omogenea (travi metalliche, lastre grecate);
- con rivestimenti soffici e friabili e di spessore inferiore a 15-20 mm.;

In tali casi può essere sufficiente l'adozione della tecnica dell'imbibizione superficiale: il rivestimento viene spruzzato con acqua contenente detergenti e tensioattivi per facilitarne la penetrazione (soluzioni acquose di etere ed estere di poliossietilene) o impregnanti (prodotti vinil-acrilici comunemente usati per l'incapsulamento), fino a che il rivestimento risulti bagnato fino in profondità. Può essere utile, dopo il trattamento, attendere qualche ora per consentire alla soluzione imbibente di saturare in profondità il rivestimento e di sciogliere i legami dal supporto.

Tecnica imbibizione totale

L'intervento di rimozione non è sempre agevole, in genere ciò accade quando:

- i rivestimenti hanno subito in passato trattamenti superficiali di contenimento e compattazione, generalmente consistenti in verniciatura e incapsulamento con soluzioni penetranti e/o pellicolanti, che possono aver conferito alla superficie degli stessi una certa impermeabilità;
- i rivestimenti sono ancora stabilmente ancorati al supporto;
- i supporti (pareti, soffitti, travi, tubazioni, etc.) si presentano superficialmente porosi, rugosi, anfrattuosi (travi di cemento-armato, mattoni forati, ecc.) per la conseguente difficoltà di individuare e asportare tutti i residui;
- i rivestimenti si presentano compatti o con spessori superiori a 20-25 mm.

In tali casi può risultare necessario adottare la tecnica dell'imbibizione totale: tutto il rivestimento viene bagnato con un getto soffuso di una soluzione di acqua contenente il 5 % di detergente, utilizzando spruzzatori a pressione tipo giardino o un autoclave oppure pompe a staffa.

Si praticano, successivamente, dei fori a distanza di circa 20 cm. su tutto lo spessore del rivestimento, utilizzando un tronco cilindrico a bordo tagliente, provvisto di manica e manovrato a mano.

Si inietta a leggera pressione (circa 1 Kg/cm²), mediante uno o più ugelli cilindrici dello stesso diametro con bordo superiore seghettato, lo stripper³ nello spessore del rivestimento per imbibire in profondità il rivestimento, evitando possibilmente il ruscellamento dello stesso. Quando la zona del rivestimento trattata risulta imbibita il coibente può essere rimosso per piccoli settori.

Accorgimenti

E' di fondamentale importanza che il materiale da rimuovere sia bagnato e che venga mantenuto bagnato, perché da questo dipende la concentrazione di fibre aerodisperse nel cantiere. Bisogna tener presente che materiali poco bagnati e lasciati accumulare per terra possono determinare concentrazioni di fibre aerodisperse anche dell'ordine di decine di migliaia per litro di aria. Con tali concentrazioni, anche il respiratore più efficace e ben tenuto risulta inadeguato a mantenere la concentrazione respirata dall'operatore a livelli accettabili.

Inoltre, durante la rimozione, per ridurre ulteriormente la concentrazione e quindi abbattere le fibre aerodisperse è necessario eseguire frequentemente

nebulizzazioni di acqua o soluzioni diluite di incapsulante in aria.

Per limitare quindi la diffusione delle fibre nell'ambiente è assolutamente proibito l'uso di utensili meccanici elettrici ad alta velocità, quali seghe con dischi abrasivi; aria compressa e acqua ad alta pressurizzazione.

Rimozione

La rimozione dell'amianto, viene effettuata raschiandolo dal supporto, iniziando nel punto più lontano dagli estrattori e procedendo verso di essi, secondo la direzione del flusso dell'aria.

Particolare attenzione deve essere prestata nel rimuovere l'amianto dalle zone anguste, dagli angoli e dalle parti nascoste o di difficile accessibilità.

L'amianto rimosso deve essere insaccato immediatamente e comunque prima che abbia il tempo di essiccare. Prima della raccolta, comunque, è buona norma accertarsi che il materiale rimosso sia ancora bagnato; in caso contrario occorrerà bagnarlo adeguatamente con getto soffuso.

A tal fine dovranno lavorare contemporaneamente almeno due squadre di operai (composte ciascuna da due o più addetti): una addetta alla rimozione dell'amianto e l'altra addetta a raccogliere l'amianto caduto e ad insaccarlo. I sacchi pieni saranno sigillati immediatamente.

Il grosso del materiale caduto deve essere raccolto ed insaccato immediatamente dalla squadra di raccolta con l'ausilio di ramazze "a spatola", palette piatte, etc .

Raccolta residui fini

I residui più fini devono essere raccolti con aspiratori portatili per polveri e liquidi (vacuum-cleaner) dotati di manichette aspiranti.

³ *Lo stripper è una soluzione detergente acida o caustica atta ad indebolire il supporto di ancoraggi del rivestimento coibente*

Si tratta di aspiratori mobili dotati di sistema di filtrazione doppio. Il primo stadio di filtrazione è costituito da un filtro a ciclone d'acqua (o scrubber), con un'efficienza filtrante del 99,97 %, il secondo da un filtro assoluto a carta di lana di vetro, con un'efficienza filtrante del 99,99%.

Il sistema a ciclone, sostituisce il prefiltro presente sugli aspiratori per sole polveri. L'utilizzo di queste attrezzature su rifiuti imbibiti e su liquidi permette di lavorare limitando al massimo la polvere.

Il materiale liquido raccolto nell'aspiratore (polveri leggere e fibre mescolate con l'acqua nel serbatoio del filtro a ciclone) deve essere recuperato e chiuso in fusti rigidi e sigillabili debitamente etichettati. Dopo una prima rimozione grossolana, effettuata generalmente con raschietti e spatole a mano, le superfici rivestite vengono spazzolate (con spazzole di metallo) e pulite ad umido (con stracci e spugne) in modo da asportare tutti i residui visibili di amianto.

Termine delle operazioni

All'interno del cantiere tutte le attrezzature di lavoro non monouso come gli aspiratori portatili, gli estrattori ad alto volume, i trabattelli, le pompe per l'incapsulante, etc. devono essere protette con teli di polietilene perché, altrimenti, le fibre di amianto depositatesi si impastano con l'incapsulante formando una "pappa" difficilissima da rimuovere.

Al termine delle operazioni di rimozione lo strato interno dei teli in polietilene (a protezione delle pareti e soprattutto del pavimento) deve essere tolto dopo essere stato adeguatamente spruzzato con incapsulante, mentre le superfici decoibentante possono essere trattate con un prodotto sigillante, per fissare tutte le fibre residue non visibili soprattutto in luoghi difficilmente accessibili o difficilmente praticabili.

Le superfici metalliche (travi, condotte, tubazioni, ecc.) presentano la necessità di essere trattate, una volta asciugate, con uno strato di vernice protettiva avente la duplice funzione di protezione antiruggine e di incapsulante delle eventuali tracce di amianto sfuggite alla rimozione.

5.4 Incapsulanti

L'incapsulamento consiste nell'applicazione di una pellicola protettiva sulla superficie dei MCA (è utilizzato nelle operazioni di bonifica delle coperture), per bloccare il fenomeno di rilascio delle fibre.

La scelta del tipo di incapsulante dipende dalle caratteristiche del rivestimento in amianto e dagli scopi dell'intervento. A causa della variabilità delle situazioni che si possono presentare, prima di essere impiegato, il prodotto deve essere testato direttamente sul materiale da trattare. Se si usano incapsulanti ricoprenti bisogna verificarne l'aderenza al rivestimento; se si usano incapsulanti penetranti bisogna controllarne la capacità di penetrazione e di garantire l'aderenza al supporto del rivestimento. In tutti i casi, bisogna sempre verificare preventivamente la capacità del rivestimento di sopportare il peso dell'incapsulante. Preliminarmente la superficie del rivestimento di amianto deve essere aspirata; devono essere rimossi tutti i frammenti pendenti del rivestimento di amianto e le parti distaccate dal substrato. L'integrità del rivestimento deve essere restaurata utilizzando materiali senza amianto che presentino una sufficiente affinità con il rivestimento esistente e con il prodotto incapsulante impiegato. L'incapsulante deve essere applicato con un'apparecchiatura a spruzzo "airless", al fine di ridurre la liberazione di fibre per l'impatto del prodotto. Il trattamento completo può richiedere

l'applicazione di 2 o 3 strati successivi.

Esistono diversi tipi di incapsulante, solitamente a base di co-polimeri, vinil/acrilici in dispersione acquosa, esenti da solventi.

I materiali attualmente utilizzati per tali applicazioni concorrono a rinsaldare le coperture e aumentano l'elasticità e la resistenza generale della struttura (vengono applicate pellicole di spessore variabile non inferiore a 25 micron). I trattamenti di incapsulamento possono essere effettuati:

- previo pulizia con sostanze in grado di attaccare i materiali organici presenti sulla superficie (sempre consigliabile, in quanto garantisce una migliore riuscita) ;
- direttamente sui materiali in opera "sporchi".

Le sostanze incapsulanti, devono rispondere ai seguenti requisiti:

- certificazione che attesti la capacità del prodotto di inglobare le fibre di amianto, rilasciata da istituti di analisi e ricerca dello Stato (es. CNR);
- certificazione che attesti le prove di aderenza secondo la Norma UNI 10686 par.11;
- certificazione che attesti le prove di resistenza al lavaggio (minimo 5000 cicli) secondo la norma UNI 10686;
- la sostanza utilizzata dovrà essere prodotta in regime di qualità UNI EN ISO 9002.

Le modalità di applicazione dovranno inoltre seguire le indicazioni previste dal DM 20/8/99.

I costi degli interventi di incapsulamento sono estremamente variabili in

funzione della tipologia di prodotto applicata. Mediamente tali costi oscillano tra il 40 ed il 60 % di quanto necessario alla rimozione completa della copertura.

Anche per un intervento di incapsulamento che preveda il trattamento preliminare delle superfici o la parziale sostituzione dei materiali di amianto, si ha l'obbligo di presentare, 90 giorni prima dell'inizio dei lavori, un piano di lavoro all'azienda USL territorialmente competente sul luogo dove si svolgerà l'intervento.

L'incapsulamento è un procedimento manutentivo che permette di allungare notevolmente la durata materiale contenete amianto, soggetto a deterioramento. Ad esempio, nella lastre contenenti amianto, questa tecnologia viene applicata utilizzando particolari cicli di resine U.V. resistenti, penetranti, consolidanti, antivegetative, filmogene, autolavanti, ecc., che ripristinano l'integrità superficiale delle lastre, ne impediscono la carbonatazione ed inglobano le fibre di amianto in fase di distacco.

Le tipologie di incapsulanti più utilizzati sono:

- Resine incapsulanti a base: acrilica, metacrilica, elastomerica, poliuretanic, epossidica
- Schiuma poliuretanic spruzzata e sovraverniciata con guaine liquide

La presenza di smog, della flora batterica, di muschi e licheni, di fibre in fase di distacco, delle cariche sfaldate di cemento, costituiscono un «cuscinetto» altamente instabile, e di un certo spessore, che non permette l'effettivo aggrappaggio della resina sulla superficie coesa della lastra:

Per questo motivo il D.M. Sanità del 06/009/94 indica testualmente: «...richiede necessariamente un trattamento preliminare della superficie del

manufatto, al fine di pulirla e di garantire l'adesione del prodotto incapsulante. Il trattamento deve essere effettuato con attrezzature idonee che evitino la liberazione di fibre di amianto nell'ambiente ...»

Per questo motivo è assolutamente vietato l'uso delle tradizionali idropultrici o sistemi di pulizia a secco.

Le operazioni di pulizia e preparazione delle superfici costituiscono una operazione importante e delicata in quanto, l'aggrappaggio del ciclo incapsulante e la durabilità dello stesso, dipenderà notevolmente da questa lavorazione.

I corretti sistemi di lavaggio prevedono che la pulizia sia fatta ad acqua in pressione, ma con un sistema che eviti la nebulizzazione della stessa e la conseguente dispersione di fibre nell'ambiente.

Il sistema, ampiamente diffuso all'estero, sta riscontrando anche in Italia una vera impennata di richieste per l'economicità dell'intervento, la facilità di manutenzione e il proseguimento dell'attività lavorativa all'interno dell'edificio durante le fasi applicative.

5.5 Glove bag

Nel caso di limitati interventi su tubazioni rivestite in amianto per la rimozione di piccole superfici di coibentazione (ad es. su tubazioni o valvole o giunzioni o su ridotte superfici od oggetti da liberare per altri interventi), e' utilizzabile la tecnica del glove-bag (celle di polietilene, dotate di guanti interni per l'effettuazione del lavoro).

Nel glove-bag vanno introdotti, prima della sigillatura a tenuta stagna, attorno

al tubo o intorno alla zona interessata, tutti gli attrezzi necessari; ci deve essere un sistema di spruzzatura degli agenti bagnanti (per l'imbibizione del materiale da rimuovere) o sigillanti (per l'incapsulamento della coibentazione che rimane in opera) e un ugello di aspirazione da collegare ad aspiratore dotato di filtro di efficienza HEPA per la messa in depressione della cella ove possibile in continuo e sempre a fine lavoro.

Per la tutela del lavoratore, gli addetti alla scoibentazione con glove-bag devono indossare indumenti protettivi a perdere e mezzi di protezione delle vie respiratorie; precauzionalmente e preliminarmente alla installazione del glove-bag la zona deve essere ove possibile circoscritta e confinata

Durante l'uso del glove-bag deve essere vietato l'accesso al personale non direttamente addetto nel locale o nell'area dove ha luogo l'intervento inoltre deve essere tenuto a disposizione un aspiratore a filtri assoluti per intervenire in caso di eventuali perdite di materiale dalla cella.

É importantissimo che il glove-bag venga installato in modo da ricoprire interamente il tubo o la zona dove si deve operare, e che tutte le aperture siano ermeticamente sigillate.

La procedura di rimozione dell'amianto e' quella usuale: imbibizione del materiale, pulizia delle superfici da cui e' stato rimosso con spazzole, lavaggi e spruzzatura di incapsulanti, a fine lavoro la cella e' messa in depressione collegando l'apposito ugello all'aspiratore con filtro assoluto; quindi viene pressata, "strozzata" con nastro adesivo, tenendo all'interno il materiale rimosso, svincolata ed avviata a smaltimento secondo le usuali procedure per i rifiuti contenenti amianto.

Questa tecnica ha dei limiti di utilizzo, in quanto c'è sempre la probabilità che la cella si rompa; inoltre si deve considerare la scarsa manualità degli operatori e la possibilità che si verifichino situazioni non controllabili di pericolo in fase di installazione e rimozione delle celle.

Ovviamente la tecnica glove-bag non è utilizzabile per tubazioni di grosso diametro e/o temperatura superiore a 60 °C.

5.6 Tecniche per la Bonifica di grandi strutture coibentate

Nel caso di interventi di bonifica di intere strutture coibentate (es. grosse tubazioni o caldaie o elementi coibentati di macchina) sono da preferirsi, se tecnicamente possibili, idonee procedure di rimozione dell'intera struttura, o di parti consistenti di essa, con la coibentazione ancora in opera e la successiva scoibentazione in apposita zona confinata, allestita secondo le procedure già descritte (cap 3).

In questo caso o nel caso in cui direttamente strutture coibentate in amianto (es. tubazioni, caldaie, etc.) debbano essere smontate o smantellate (ad es. per essere sostituite) deve procedersi come segue:

- se esistono soluzioni di continuità nella coibentazione lo smontaggio o l'eventuale taglio deve avvenire in corrispondenza di questi punti esenti da amianto, dopo aver provveduto a fasciare e sigillare accuratamente tutta la superficie coibentata (per impedire che sollecitazioni alla struttura mettano in circolo fibre nell'aria);
- se la coibentazione non ha punti di interruzione utili, si rimuove, con le procedure della zona confinata o dei glove-bag, la superficie più ridotta

possibile di coibentazione; si puo' quindi procedere al taglio o allo smontaggio nella zona liberata dall'amianto, dopo sfasciatura e sigillatura della coibentazione rimasta in opera;

La movimentazione dei pezzi cosi' ottenuti va condotta con la massima attenzione per non danneggiare la protezione della coibentazione. Devono essere sempre a disposizione le attrezzature per interventi che si rendessero necessari in caso di liberazione di fibre nell'aria (aspiratori con filtri ad efficienza HEPA, incapsulanti, etc.). Nel caso di limitati interventi su tubazioni rivestite in amianto per la rimozione di piccole superfici di coibentazione è utilizzabile la tecnica del glove-bag (celle di polietilene, dotate di guanti interni per l'effettuazione del lavoro) .

6 BONIFICA DEI SITI INDUSTRIALI DISMESSI

La bonifica dei siti industriali dismessi è normata dal DM 14/05/96 (allegato I), nel quale sono individuate le tecniche e le metodologie di intervento e di ripristino applicate

a) alle aree ed agli edifici industriali in cui la contaminazione proviene dalla lavorazione dell'amianto o di prodotti che lo contengono (quindi siti industriali dismessi);

b) alle altre situazioni in cui l'eventuale inquinamento da amianto è determinato dalla presenza di locali adibiti a stoccaggio di materie prime o manufatti o dalla presenza di depositi di rifiuti.

In funzione della realtà e tipologia industriale dell'area da bonificare saranno da adottare tecniche specifiche, da valutare per ogni caso nella sua peculiarità. Per tali ragioni quindi è previsto che l'intervento di bonifica prescelto debba essere preventivamente posto all'attenzione dell'Azienda U.S.L. competente per territorio, con la presentazione del piano di lavoro di cui all'art.34 del D.Lgs. 277/91 allegando copia dell'autorizzazione della discarica, copia dell'autorizzazione del trasportatore, e i nominativi del personale impiegato in cantiere con i rispettivi certificati di idoneità medica.

Secondo quanto previsto dal DM 14/05/96 l'attività di bonifica di un sito industriale deve prevedere l'esecuzione di preliminari fasi di studio e di valutazioni analitiche che condurranno alla predisposizione dell'effettivo intervento di bonifica.

6.1 A - Sopralluogo Ricognitivo

Lo scopo del sopralluogo e' quello di evidenziare le situazioni di presenza residuale di amianto e di manufatti contenenti amianto. Si procede così ad un censimento di tutta l'area interessata dalla contaminazione dal quale dovranno emergere i seguenti elementi conoscitivi:

- a) - presenza o meno di residui di manufatti (non piu' commerciabili) e quindi da considerare come rifiuti da smaltire (indicare le quantita' in metri cubi e in tonnellate);
- b) - presenza o meno di sfridi delle lavorazioni, valutando la tipologia (rottami, polveri) dello sfrido - (indicare le quantita' in metri cubi e in tonnellate);
- c) - presenza o meno di residui di polveri contenenti amianto presenti in eventuali impianti di abbattimento (indicare le quantita' in chilogrammi).

6.2 B - Carotaggio dei terreni per evidenziare eventuali materiali interrati

L'esecuzione di carotaggi sul terreno interessato dalla contaminazione ha lo scopo di valutare l'eventuale presenza di materiali contenenti amianto interrati. Tali sondaggi dovranno essere eseguiti prendendo ogni possibile precauzione atta ad evitare il sollevamento di polveri nel corso della perforazione; dovranno essere condotti fino alle profondità ritenute necessarie in relazione alla particolare situazione del sito da investigare. Dai carotaggi si preleveranno carote, ad esempio di 10 cm. di diametro, che saranno sigillate e opportunamente conservate per il prelievo dei campioni da analizzare.

6.3 C - Analisi dei materiali evidenziati durante le fasi "A" e "B"

I materiali raccolti nel corso delle fasi di indagine di cui ai punti A e B, saranno successivamente sottoposti a valutazioni analitiche, secondo quanto indicato negli allegati tecnici al D.M. 6/9/94.

6.4 D - Le operazioni di bonifica

Sulla base dei dati emersi durante le fasi conoscitive A, B e C si predisporranno gli interventi di bonifica, modulati in funzione del caso particolare da affrontare.

In linea di massima le operazioni di bonifica si esplicheranno nella successione di primarie fasi di intervento la cui consequenzialità temporale, e l'effettiva realizzazione, riportata nei piani di lavoro, varia in funzione della situazione specifica. In un intervento di bonifica potranno dunque susseguirsi le seguenti fasi lavorative:

I FASE: eventuale rimozione delle coperture in amianto-cemento;

II FASE: bonifica degli edifici;

III FASE: bonifica delle reti fognarie e delle fosse di decantazione;

IV FASE: bonifica dei terreni.

6.4.1 I FASE: Eventuale rimozione delle coperture in amianto-cemento.

Le modalità di esecuzione di tale attività riportano alle procedure previste dal DM 6/9/94 - punto 7) e riportate nel capitolo

6.4.2 II FASE: Bonifica degli edifici.

La bonifica di questi siti ha lo scopo di rimuovere le eventuali polveri depositate ed i materiali contenenti amianto sulla base di quanto emerso durante le indagini conoscitive di cui ai precedenti punti A/B/C.

I materiali di cui ai punti Aa/Ab/Ac, dovranno essere raccolti e smaltiti secondo procedure "ad hoc" in funzione della classificazione attribuita alle diverse tipologie di rifiuto. Verificato che nei capannoni industriali e negli edifici esistenti nell'area non sono individuabili materiali contenenti amianto (fa eccezione l'eventuale copertura in lastre o ondulati di amianto- cemento), la bonifica si fonda su una preventiva aspirazione delle polveri depositate con appositi aspiratori muniti di filtri assoluti e di un successivo lavaggio con idropulitrice od altra idonea strumentazione.

Il lavaggio sarà effettuato in modo accurato allo scopo di rimuovere completamente le polveri depositate. Al termine di tale operazione i locali saranno lasciati in quiete per sette giorni; successivamente si procederà ad un accurato lavaggio dei pavimenti con acqua. Tutte le acque risultanti dalle operazioni di pulizia, ad esempio con idropultrici od altra idonea strumentazione, saranno convogliate, dopo il passaggio in pozzetti di filtraggio, ad una vasca di raccolta e decantazione, prima dell'invio al sistema fognario; per lo scarico dovrà essere rispettato il valore limite previsto dalla normativa vigente.

Al termine della bonifica, si procederà alla bonifica della vasca, di tutti i pozzetti e delle canalizzazioni; il materiale risultante, dopo l'analisi per la caratterizzazione come rifiuto, sarà inviato in idonea discarica.

Al termine delle operazioni di lavaggio sarà effettuato un controllo da parte degli Organi di vigilanza, competenti territorialmente, prima di procedere ad un ulteriore trattamento di tutte le superfici con idonei materiali incapsulanti. Tutti gli addetti all'operazione di bonifica dovranno utilizzare tute ad un pezzo del tipo a perdere, complete di cappuccio e calzari, nonché respiratori con filtro P3 a ventilazione assistita.

Essi dovranno disporre di spogliatoio con locali civile/ lavoro separati del tipo previsto dal Decreto Ministeriale del 6/9/94.

In particolare le modalità di lavoro dovranno prevedere:

- la delimitazione dell'area di cantiere con nastro bicolore ed apposizione della prescritta cartellonistica di legge.
- l'intervento di pulizia meccanica di pavimenti e pareti con idonei strumenti atti a rimuovere amianto minimizzandone la dispersione ambientale.
- la raccolta ed insaccamento delle eventuali melme dei pozzetti per lo smaltimento finale (da effettuare dopo la terza fase di bonifica).

Il personale opererà indossando indumenti - tute con cappuccio, guanti e calzari a perdere; le vie respiratorie dovranno essere protette da maschere a filtro assoluto tipo P3.

Il personale operante potrà abbandonare la zona di lavoro solamente secondo il percorso specificato nel Decreto Ministeriale 6 settembre 1994 e più precisamente:

- a) - spogliatoio sporco: svestizione degli indumenti e collocazione degli stessi in appositi sacchi;

- b) - locale docce - doccia praticata tenendo indossata la maschera;
- c) - chiusa d'aria - l'operaio si toglie la maschera;
- d) - spogliatoio pulito - deposito maschera e vestizione con gli indumenti personali.

Nel caso siano presenti materiali contenenti amianto utilizzati per la costruzione degli edifici o materiali coibentati a spruzzo si dovranno attivare procedure più rigorose, che saranno valutate caso per caso nell'ambito del piano di lavoro.

6.4.3 III FASE: Bonifica delle reti fognarie e delle fosse di decantazione.

Per quanto riguarda le reti fognarie e le fosse di decantazione la bonifica sarà effettuata secondo le modalità di seguito descritte:

- a - nel caso in cui i materiali abbiano consistenza melmosa (ad esempio dopo la bonifica degli edifici con idropulitura) si procederà alla loro rimozione senza la realizzazione di coperture e sistemi in depressione;
- b - nel caso in cui i materiali abbiano consistenza pulverulenta dovrà essere realizzato un sistema di copertura in depressione così come previsto per la "Quarta fase: bonifica dei terreni".

Nel caso a) il personale dovrà seguire le procedure previste dal D.M. 6/9/94 punto 7 "Rimozione delle lastre in cemento-amianto".

Nel caso b) il personale dovrà seguire quanto indicato per la "Quarta fase bonifica dei terreni".

6.4.4 IV FASE: Bonifica dei terreni.

Sulla base di quanto emerso nel corso delle indagini di carotaggio (punto B) si procederà alla bonifica del suolo nei casi in cui il riutilizzo del sito industriale preveda fasi di escavazione del suolo stesso (per es. realizzazioni di fondazioni).

Nel caso in cui il riutilizzo del sito preveda la conservazione della situazione superficiale/morfologica esistente ed in assenza di particolari situazioni di rischio derivanti dall'assetto idrogeologico del territorio, gli eventuali rifiuti interrati di amianto risultanti dal carotaggio potranno non essere rimossi dall'area.

In questo caso si dovrà comunque dare comunicazione alle Aziende U.S.L. competenti per territorio che vincoleranno il riutilizzo del sito stesso per scopi diversi da quello conservativo alla rimozione dell'amianto residuale.

Per l'attuazione dell'intervento di bonifica del suolo, si procede con l'installazione di due sale tecniche spostabili realizzate con strutture in carpenteria metallica e rivestite con fogli di polietilene di adeguato spessore. Le sale saranno mantenute in depressione attraverso gruppi di aspirazione a filtrazione assoluta.

La prima sala dovrà avere le dimensioni di metri 20 per 10 e sarà adibita alla decontaminazione ed al "condizionamento" dei cassoni di trasporto, prima di essere allontanati. Le dimensioni della seconda sala saranno stabilite in funzione delle dimensioni dei cassoni di trasporto al fine di consentirne una gestione corretta.

Il personale dovrà operare indossando indumenti a perdere (tute col cappuccio, guanti e calzari). Le vie respiratorie dovranno essere protette da

maschere a filtro assoluto tipo P3.

Il personale operante potrà abbandonare la zona di lavoro seguendo il dettato del D.M. del 6 settembre 1994.

6.5 Monitoraggi

Nel corso di ognuna delle fasi di bonifica sopra descritte dovranno in concomitanza essere effettuati continui monitoraggi sul personale impegnato nelle operazioni di bonifica, secondo quanto disposto dal D.Lg.vo 277/91, e delle fibre aerodisperse nelle aree circostanti il cantiere di bonifica.

I criteri e le modalita' del monitoraggio sono quelli indicati al punto 5a.11 del DM 6/9/94.

6.6 E - Certificazione della restituibilità del sito industriale bonificato

Per certificare la restituibilità del sito bonificato, si adotteranno i criteri previsti nei punti 6a) e 6b) del DM 6/9/94 eventualmente adeguati alle peculiarità della situazione in esame.

7 TECNICHE INNOVATIVE DI BONIFICA

7.1 Rimozione con il sistema Sobijet + Meltron

Nel 1999, in Francia, il Ministero della Sanità, ha autorizzato dopo numerose prove di collaudo e su certificazione del C.S.T.B., l'utilizzo di un ciclo alla base del quale vi è il sistema Sobijet + Meltron, presso Parigi in località La Defence dove alcuni dei grattacieli che costituiscono il Bulding Center sono stati trattati con questo sistema.

SobiJet è una macchina che proietta bicarbonato di sodio ottenuto da sintesi ed a granulometria controllata, mediante aria compressa regolabile da 0-6 bar.

Il funzionamento del sistema è dato dalla formula

$$E_c = m v^2 / 2$$

dove E_c = Energia cinetica ; m = massa ; v = velocità

Il bicarbonato di sodio ha una durezza in scala Moss alquanto bassa in grado di non effettuare l'abrasione della matrice che supporta l'amianto, ma in grado di abradere il rifiuto ed il primer.

Durante le operazioni è spruzzata anche acqua con l'unico scopo di abbattimento delle polveri e di permettere al Meltron di sciogliersi completamente in modo che il rifiuto non aumenti di volume.

Questo rimane pressoché costante in quanto la poca acqua utilizzata nebulizzata viene completamente adsorbita dal rifiuto stesso.

Senza altro vi è un aumento di peso il cui costo è minimizzabile in quanto

interamente sopportato dalla velocità di esecuzione dei lavori.

Da alcune prove effettuate direttamente in cantiere si è potuto constatare la mancanza di fibre aerodisperse durante le fasi di lavoro e la diminuzione dei movimenti articolari delle maestranze del 80%.

7.2 Funghi anti amianto – (bonifica terreni attraverso biorimediazione)

Da una ricerca del CNR di Torino è stato scoperto che alcune comuni varietà di fungo sono capaci di rendere inoffensive le fibre di amianto presenti nel terreno.

Alcune specie di microrganismi (*Fusarium oxysporum*, la *Mortierella hyalina* e l'*Oidiodendron maius*) studiati dalla dott.ssa Silvia Perotto sono risultati molto efficienti nel rendere innocuo l'amianto. Questi funghi strappano gli atomi di ferro dalle fibre di amianto usandolo per produrre l'energia di cui hanno bisogno.

È un processo che rende l'amianto molto meno pericoloso, poiché è proprio il ferro una delle componenti più tossiche di questo materiale. Il ferro, infatti, è un elemento reattivo: quando entra in una cellula scatena la produzione dei radicali liberi, molecole che possono danneggiare il DNA e provocare il cancro. Le specie studiate, sono risultate molto voraci e longeve.

Il vantaggio della bonifica dei terreni con la bio-rimediazione risulta evidente, infatti non sono necessari lavori di scavo in quanto è sufficiente spargere i microrganismi sull'area da trattare, "concimare" con sostanze nutrienti gradite ai funghi e aspettare.

L'uso dei funghi ha anche un altro vantaggio: le fibre di amianto vengono

ingabbiate e immobilizzate in una fitta rete formata dalle ife fungine. In questo modo la rimozione del terreno contaminato è molto meno pericolosa.

7.3 Rimozione del polverino di amianto in aree non confinate

Il polverino d'amianto è una polvere finissima, residuo delle lavorazioni di tornitura su materiali composti da amianto, prodotti negli anni 80.

Questo tipo di tecnologia è nata dalla necessità di bonificare il polverino che veniva spesso utilizzati dalla popolazione di Casal-Monferrato per gli usi più disparati: materiali di riempimento, coibente per sottotetti, ripristino della superficie in terra battuta della Piazza, ecc... .

Quando il confinamento non è ritenuto una soluzione percorribile sia sul piano tecnico operativo che su quello economico, la metodica di intervento è diretta a ridurre al minimo la dispersione delle fibre, con una rimozione ad umido del polverino.

L'intervento consiste nell'allagare completamente la zona, con impregnazione progressiva del terreno senza che il flusso del liquido agisca meccanicamente sullo stesso e senza la formazioni di battenti idraulici come ad esempio pozzangehere.

Per fare ciò è necessario un controllo ottimale dell'acqua impregnante ed anche un idonea perimetrazione dell'area di bonifica, costituita da barriere che impediscano la trascinazione del fluido.

La matrice polverulenta sarà trasformata in una matrice umida, consentendo l'asportazione di uno strato di terreno spesso circa 10 cm senza rilascio nell'aria di fibre.

Il materiale asportato è un rifiuto che dovrà essere immesso in un sacco di

ridotta capacità supportato da un contenitore rigido a tenuta, in modo da evitare che il liquido fuoriesca sia durante lo stoccaggio che durante il trasporto in discarica.

7.4 Smaltimento Amianto Radioattivo

Rivestimenti di tubazioni, pannelli, elementi di isolamento sono eliminabili in diversi modi, ma in alcuni casi l'amianto risulta impregnato da sostanze tossiche: oli, vernici, da Arsenico, Zinco, Cromo, Minio, od irraggiato da emissioni radioattive, da raggi X, Gamma, che rendono impossibile l'eliminazione con le metodologie classiche di smaltimento.

Una tecnica innovativa per lo smaltimento dell'amianto impregnato è la messa in sicurezza mediante penetratori a caduta libera, del tipo già sviluppati per il seppellimento delle scorie radioattive.

L'amianto viene distaccato da personale specializzato ed il lavoro avviene secondo le norme di sicurezza Nazionali.

Gli elementi di amianto sono immessi in una speciale centrifuga nella quale l'amianto è centrifugato e miscelato ad un legante chimico in modo da ottenere dei noduli di amianto stabile, moderatamente compresso, facilmente trasportabile.

Tali noduli hanno una superficie compatta e le fibre non possono liberarsi nell'aria anche in presenza di fiamme libere, si tratta quindi di un prodotto definitivamente sicuro anche in caso di incidente. Tali caratteristiche rendono possibile il trasporto a mezzo di cisterne, silos, sacchi, casse, etc. per il quale non necessitano particolari precauzioni, a differenza dei sistemi tradizionali di

trasporto mediante big-bags, per i quali sono invece necessarie specifiche autorizzazioni.

Giunti in impianto i noduli di amianto vengono compressi in piccole mattonelle e/o barre, successivamente mescolati a cemento e immessi in un penetratore, sviluppato per il seppellimento dell'amianto al di sotto dello strato di argilla che ricopre i fondali marini.

Ogni penetratore trasporta 218 metri cubi (fino a 150 Tons di amianto) ed e' costruito in acciaio speciale ad alta resistenza ed il suo scafo di 20 mm di spessore garantisce una vita minima di oltre 20.000 anni. Un penetratore, caricato, avrà un peso finale al lancio compreso fra le 150 e le 200 Tonellate.

Il penetratore per amianto, viene lanciato in mare in appositi siti già precedentemente localizzati per il seppellimento delle scorie nucleari, con argilla sul fondo ed in aree di mare sorvegliate. Il penetratore raggiunge la velocità finale di impatto variabile da un valore minimo di 180 Km/h, ad un valore massimo di 210 Km/h.

Raggiunto il fondo si seppellisce nell'argilla per circa 60-90 mt: la profondità di seppellimento è in relazione sia alla velocità finale d'impatto raggiunta che alla densità dell'argilla stessa.

Per il lancio si usano delle navi realizzate appositamente per questo tipo di attività in grado sia di eseguire tutte le operazioni in massima sicurezza, sia di monitorare i punti di impatto sul fondo del mare.

La profondità dei fondali e' variabile da un minimo di 500 metri ad un massimo di 2.000 mt. circa.

8 PROCESSI DI TRATTAMENTO RIFIUTI CONTENENTI AMIANTO

Prima dell'entrata in vigore del D.Lgs. n.22/97, il DPR 8.8.94 stabiliva all'art. 5, comma 1 quanto segue: "i rifiuti di amianto classificati sia speciali che tossico nocivi, ai sensi del decreto del Presidente della repubblica 10 settembre 1982, n.915, devono essere destinati esclusivamente allo smaltimento mediante stoccaggio definitivo in discarica controllata". In base a tale articolo era di fatto proibito qualsiasi trattamento sui rifiuti di amianto.

Il D.Lgs. n.22/97 modifica tale situazione introducendo il concetto di inertizzazione e/o trattamento dei rifiuti preliminare allo smaltimento definitivo in discarica, ed impone, per qualsiasi tipologia di trattamento prescelta, che gli impianti di trattamento operino nel rispetto dei limiti imposti dal D.Lgs. n.114/95, relativo alla prevenzione e riduzione dell'inquinamento dell'ambiente causato dall'amianto con particolare riferimento ai valori limite delle emissioni negli effluenti gassosi (0.1 mg di amianto per metro cubo di aria emessa) e negli effluenti liquidi (30g di materia totale in sospensione per metro cubo di effluente liquido scaricato).

Per quanto attiene la protezione degli addetti agli impianti di trattamento contro i rischi derivanti da esposizione alle fibre di amianto, restano validi i limiti di esposizione negli ambienti di lavoro, stabiliti dal D.Lgs. n.277/91 e successive modifiche ed integrazioni, (Legge 257/92, art.4 lettera a)), espressi come media ponderale su un periodo di riferimento di 8 ore: 0.6 ff/cc per il crisotilo, 0.2 ff/cc per tutte le altre varietà di amianto.

Con l'applicazione sui RCA dei processi di innocuizzazione si riesce ad ottenere una riduzione della pericolosità di tali rifiuti, mediante l'ottenimento di prodotti finali i cui rilasci in atmosfera o in eluati di fibre d'amianto sono notevolmente ridotti ed entro i limiti consentiti dalle normative vigenti. Tali risultati sono possibili con l'applicazione di "processi di condizionamento" in matrici di diversa natura (cemento, resine), mediante i quali si esplicano azioni di contenimento e di fissazione delle fibre all'interno di una matrice cementizia, o attraverso processi che intervengono direttamente sulla struttura del minerale di amianto generando una inertizzazione del prodotto modificandone, del tutto o in parte, la struttura fibrosa.

Di seguito sono riportati alcuni possibili metodi di trattamento di materiali/rifiuti contenenti amianto così come elencati nell'allegato 1 del progetto AMOS del CNR (vedi bibliografia).

8.1 Trattamenti a freddo

I trattamenti a freddo comprendono i processi di condizionamento in matrici di varia natura quali cemento e resine. Si differenziano tra loro sia per il tipo di matrice che impiegano sia per la durata della conservazione che garantiscono. I processi di stabilizzazione/solidificazione, in particolare quelli che utilizzano cemento idraulico come legante, hanno trovato ampie applicazioni nel trattamento di rifiuti tossici in quanto caratterizzati da facilità di impiego e costi contenuti; per contro però comportano un aumento non indifferente del peso del materiale trattato rispetto al rifiuto iniziale e l'obbligo di destinare il prodotto finale allo smaltimento in discariche controllate sia pure di categoria inferiore alla 2C. Dal punto di vista

applicativo occorre inoltre tener presente che le tecnologie di condizionamento, con particolare riferimento a quelle in matrice di cemento, sono indicate per il trattamento di quei rifiuti nei quali la componente non asbestosa, soprattutto se di natura inorganica, è presente in quantità preponderante.

Nel caso di rifiuti caratterizzati da elevate quantità di amianto friabile appaiono invece più indicati i processi chimico-fisici.

È comunque necessario che il MCA destinato a qualsiasi tipo di trattamento sia accompagnato da adeguata documentazione di analisi, soprattutto ai fini della scelta del processo tecnicamente ed economicamente più conveniente.

Le **tecniche di consolidamento** si basano sul totale inserimento del MCA in una matrice organica o inorganica che attraverso la costituzione di legami chimico-fisici ne determinano un contenimento più o meno stabile nel tempo. Particolarmente adatti al consolidamento si sono rivelati quei rifiuti speciali che, allo stato attuale delle conoscenze, non possono essere trattati a prezzi ragionevoli attraverso un tradizionale processo chimico volto al recupero ed al riutilizzo del rifiuto stesso.

Il consolidamento con silicati fu introdotto per la prima volta negli Stati Uniti (processo chemifix) con lo scopo di inserire rifiuti liquidi o fangosi in una matrice inorganica a base di silicati. I silicati alcalini di sodio e potassio riescono a formare, con l'aggiunta di ioni metallici polivalenti, delle masse solide la cui consistenza è paragonabile a quella della roccia. Il cloruro di calcio (CaCl_2), aggiunto direttamente ad una soluzione acquosa di vetro solubile, costituisce il catalizzatore indurente dei silicati che formano una matrice silico-metallica piuttosto aperta.

Recentemente è stata proposta dalla società Ecotec S.R.L. (brevetto europeo n.92830553.1) un metodo di incapsulamento mediante silani che permette di ottenere delle strutture silossaniche estremamente stabili dei rifiuti inorganici.

Queste metodiche, utilizzate in particolare per i rifiuti provenienti dall'industria chimica e metallurgica, non sono però state studiate in modo esaustivo per il trattamento dei MCA.

Il trattamento di immobilizzazione in matrice polimerica, adatto specialmente per i manufatti in cemento amianto, viene realizzato, dopo una preventiva pulizia del manufatto stesso, eseguita con macchine elettro-idrauliche che si avvalgono di getti d'acqua ad alta pressione, attraverso l'applicazione di una resina epossidica bicomponente ad alto potere penetrativo sul supporto, così da consolidare le lastre di amianto per l'ulteriore applicazione della resina incapsulante monocomponente capace di offrire un'ottima resistenza agli agenti atmosferici, una salda adesione al supporto, un ottimo rivestimento continuo ed elastico. L'applicazione può essere realizzata sia a spruzzo che a pennello.

I Processi di stabilizzazione/solidificazione mediante matrice cementizia consistono nel miscelare i 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 geli e strutture cristalline e semicristalline capaci di microincapsulare le fibre di amianto. I cementi utilizzati hanno un elevato contenuto di clinker (circa l'80%) la cui compattezza può essere favorita con l'aggiunta di additivi ad azione fluidificante al fine di ottimizzare il rapporto acqua/cemento ed in

modo da ottenere una maggiore velocità di idratazione, una minore capillarità residua ed una minore tendenza alla fessurazione. In alcuni casi l'aggiunta dei 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. Questa tecnologia riduce il volume, ma aumenta in genere il peso del rifiuto iniziale; si effettua a freddo e non determina una trasformazione delle fibre di amianto. In Italia l'ENEA ha qualificato, su richiesta del Ministero della Sanità, alcuni processi di stabilizzazione/solidificazione di MCA in matrice cementizia.

Il Processo Rematt è attualmente operativo in Belgio ed è stato sviluppato da 3 società che si occupano di bonifiche: la Renotec, Willich Revisma e Asbestos Removal in collaborazione con la società J.M. Balmatt produttrice di manufatti in fibro-cemento.

Il processo prevede il trattamento, in una zona definita "nera", degli involucri contenenti il MCA, mediante apertura, selezione manuale e triturazione, allo scopo di separare i metalli ferrosi. I materiali ferrosi, separati attraverso separatori magnetici, sono lavati e messi a dimora previo imballaggio mentre i materiali plastici contaminati (sacchi di plastica, film polimerici ecc.) sono compattati ed imballati in doppio sacco di polietilene. I materiali contenenti amianto triturati sono inviati ad un doppio stadio di frantumazione per essere avviati nella zona di miscelazione con cemento ed acqua in proporzioni di circa il 30% di ciascun componente. La miscela viene omogeneizzata e quindi colata in forme metalliche della capacità di 1 m³ ed eventualmente vibrati. L'impianto è completato da una sezione di trattamento dell'aria aspirata dalla

zona “nera”. La resistenza a compressione del manufatto dopo indurimento è di circa 1,5 Mpa. Il costo di trattamento varia, in funzione della quantità trattata, dalle 0,8 alle 1,3 €/kg .

Per diminuire la spesa di trasporto e di messa in opera dei manufatti in calcestruzzo si è anche fatto ricorso a calcestruzzi alleggeriti da additivi plastici a struttura cellulare (tipo stiroporo).

Il Processo Petracem è stato brevettato dalla società italiana Petracem. In questo processo il MCA, dopo caratterizzazione, subisce un trattamento preliminare con una “colla” capace di bloccare le fibre e scelta compatibile con l’amianto e la matrice cementizia. Il prodotto pretrattato è infine miscelato ad un legante idraulico in proporzioni variabili in funzione della natura dell’MCA in cui la proporzione di MCA può raggiungere il 50% in peso.

L’unità proposta è molto simile a quella per la fabbricazione del cemento con le necessarie modifiche per permettere la manipolazione di sostanze pericolose. Le caratteristiche tecnologiche dei manufatti ottenuti con questa tecnica applicata a diverse tipologie di MCA sono state studiate dall’ENEA che ha in particolare sviluppato dei tests di laboratorio per la determinazione della:

- massa volumetrica;
- resistenza a compressione a 7 e 28 giorni;
- resistenza a 30 cicli di gelo-disgelo e misura della resistenza a compressione;
- la misura della quantità di fibre liberate sotto attacco di soluzioni acquose

acide (pH =4) e dell'acido nitrico 0,1 N.

Dopo la caratterizzazione si è giunti alla conclusione che i materiali ottenuti con questa tecnica sono assimilabili, come caratteristiche meccaniche e di comportamento a lungo termine, a dei materiali di tipo amianto-cemento standard. Il costo di trattamento è indicato variabile tra le 0,2 e le 0,25 €/kg mentre il costo di messa a dimora in discariche di tipo 2C in Italia varia dalle 0,7 alle 1,2 €/kg.

Il processo DIWANA, messo a punto dalla omonima società, è una tecnica del tutto simile alla precedente.

Il processo ATOXIM (detenuto dalla società F. Bigelli) mira, infine all'ottenimento di manufatti in cemento-amianto attraverso la preventiva miscelazione del rifiuto con una pasta cementizia.

Nel Processo Depuracque (ENEA) l'azione di presa è notevolmente migliorata con aggiunta all'impasto di opportuni additivi che permettono un'efficace intrappolamento fisico delle fibre di amianto. Il processo Depuracque consente di realizzare manufatti con elevato rapporto volumetrico tra RCA e matrice cementizia (50-55% di RCA umidi) senza peraltro compromettere le caratteristiche fisico-meccaniche del prodotto finale. Il conseguimento dell'obiettivo avviene mediante l'aggiunta di un particolare additivo che ha la capacità di "bagnare" le fibre di amianto e di "allinearle" così da diminuire il numero di vuoti e "compattare" il materiale portandone la densità da 0,3 a 1,4 g/cc.

L'impianto di trattamento è suddiviso in quattro sezioni. La prima sezione adibita alla vagliatura e triturazione del MCA, la seconda per il trattamento

vero e proprio, la terza per il confezionamento dei manufatti a base di MCA e l'ultima per la sicurezza ambientale e degli operatori. L'impianto è realizzato in containers trasportabili ed è fortemente automatizzato producendo un materiale smaltibile in discariche tipo 2A con un costo di trattamento stimato per una capacità di 1 m³/h di 0,25 €/kg.

L'impianto mobile ICAM (realizzato dall'ENEA tramite la società Smogless) prevede anch'esso l'incapsulamento dei MCA in matrice cementizia. Il rifiuto viene sottoposto ad un doppio stadio di granulazione fino al raggiungimento di una dimensione massima di 15 mm, quindi miscelato a freddo con cemento, acqua e additivi. L'impasto che si ottiene viene raccolto in big-bag da 1 m³ dove permane il tempo necessario per la stagionatura. L'impianto ha una capacità giornaliera di 10 m³ ed opera in batch. I Costi di trattamento sono dello stesso ordine di grandezza dei precedenti.

Il processo NUCLECO (o inertizzazione per supercompattazione) è invece un processo di trattamento messo a punto dalla Nucleco S.p.A. ed è in grado di far raggiungere ai MCA, provenienti in particolare da decoibentazioni, bassissimi valori dell'indice di rilascio, nonché riduzioni di volume del 50% rispetto a quello originario. Questo si ottiene compattando i rifiuti a pressioni non superiori a 50 Mpa, dopo averli preventivamente triturati e miscelati con legante cementizio entro fusti petroliferi standard da 55 galloni (220 l circa). I prodotti di questo processo sono costituiti da pastiglie (o pizze), rivestite da lamiera di ferro, la cui matrice stagionata presenta una resistenza a compressione fino a 30 Mpa ed un I.R. < 0,6 (il materiale diviene allora smaltibile in discarica di tipo 2B). Il costo di trattamento per dar luogo a pastiglie con I.R. < 0,6 è di circa 0,45 €/kg mentre se l'I.R. < 0,3 il costo sale

a circa 0,50 €/kg.

8.2 Procedimenti chimici

Queste tecniche prevedono la dissoluzione dei MCA attraverso l'ausilio di reattivi chimici. Le reazioni possono eventualmente essere attivate tramite una variazione della temperatura e della pressione.

Il Procedimento TRESENERIE è stato proposto dalla società Belga WASTE TREATMENT BELGIUM (WTB) - Laan Elisabeth 153 - B-9400 NINOVE (Belgio) con brevetto internazionale n° WO97/00099.

Inizialmente il processo è stato messo a punto per prodotti floccati e solo in un secondo tempo è stato esteso alla tipologia cemento-amianto.

Il principio del processo 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.

Il ciclo produttivo prevede una serie di attacchi in soluzioni concentrate di soda che producono una fase liquida che viene riciclata e rigenerata per ricostituire la fase di attacco basico ed una fase solida che può essere recuperata per un'eventuale valorizzazione.

Non sono proposti bilanci di materia da parte degli inventori comunque si può supporre che i prodotti delle reazioni chimiche siano costituiti, in funzione della tipologia di MCA trattata, da silice, silicati di diversi ossidi ed idrossidi di ferro.

Vi è da sottolineare che per evitare la formazione di gas pericolosi vengono immessi nella fase di attacco alluminio e zinco.

Secondo la WTB la fase solida può essere utilizzata in differenti comparti produttivi:

- I residui del trattamento dell'amosite e della crocidolite possono essere utilizzati come flocculanti per la precipitazione di metalli pesanti in processi idrometallurgici o per la chiarificazione delle acque dei bacini di decantazione;
- i residui del trattamento del crisotilo possono essere utilizzati per comporre delle miscele di materiali da utilizzare per la produzione di ceramiche, maioliche, terraglie , di refrattari e in certi tipi di cemento;
- I residui del trattamento diversi da quelli su esposti possono venire utilizzati come legate negli incapsulamenti dei rifiuti tossici.

Attualmente una strada per il loro riciclo è la produzione di materiali silico-calcarei dopo opportuno trattamento termico dato che in Europa vengono utilizzati materiali con la stessa composizione ma ottenuti partendo da sabbie silicee.

Per ciò che concerne i costi la WTB propone:

- la NaOH circa 0,2 €/kg trattato;
- due ore di mano d'opera per tonnellata di MCA trattata per una unità di trattamento di 3m³ /h di capacità
- energia : 0,1 €/kg trattato.

Attualmente il procedimento TRESENERIE è stato testato solo su impianti pilota di modesta capacità ed è oggetto di studi di fattibilità per la

realizzazione di impianti industriali.

Il procedimento Solvas è stata proposto dalla SOLVEY UMWELTECHNIK GmbH (Hans-Bockler Allée - 20 - D30173 Hannover).

Il principio di trattamento si basa sulla dissoluzione delle fibre di amianto o dei materiali che lo contengono in una soluzione di acido fluoridrico. È stato scelto l'acido fluoridrico data la forte resistenza di alcuni tipi di amianto all'attacco di soluzioni acide come l'acido cloridrico, solforico e nitrico. I prodotti di decomposizione degli amianti 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 risultanti sono successivamente trattate con idrossido di calcio per la neutralizzazione e precipitazione di fluoruro di calcio (con qualche ossido ed idrossido di altri elementi). Questo consente un riciclaggio della soluzione del fluoruro di calcio (CaF_2) per la produzione di acido fluoridrico mediante attacco con acido solforico. È stata realizzata un'unità pilota costituita da tre sezioni. La prima sezione definita "zona nera" mantenuta in depressione ed opportunamente controllata in cui viene stoccato e preparato, mediante granulazione, il MCA che viene trasferito successivamente per aspirazione nella seconda zona dell'impianto che costituisce l'unità di trattamento vera e propria. In questa unità avviene l'attacco del MCA con acido fluoridrico. La reazione, che viene fatta avvenire in eccesso di acido per realizzare una dissoluzione completa, è fortemente esotermica e la temperatura di reazione può raggiungere i 100 °C.

I gas che si producono come vapor d'acqua, anidride carbonica e gas fluoridrico, vengono convogliati in aspirazione ad un dispositivo di filtrazione e lavaggio. Il pH e la concentrazione di ioni fluoruro sono accuratamente controllati in funzione della necessità di eliminare totalmente i minerali asbestoidi. La neutralizzazione della soluzione acida risultante avviene nella terza sezione dell'impianto mediante latte di calce. La reazione è fortemente esotermica ed il calore generato viene disperso mediante uno scambiatore di calore di grande potenza. La neutralizzazione dell'acido in eccesso porta alla precipitazione di diversi composti quali: fluoruro di calcio, ossidi ed idrossidi degli elementi chimici presenti nel MCA (magnesio, ferro ecc.).

Attraverso un'operazione di filtrazione si separa la fase liquida da quella solida che è costituita da polvere fine inerte. Sono state proposte diverse soluzioni per la valorizzazione di questi prodotti quali:

- sostituzione di una quota parte di frazione sabbiosa per il confezionamento di calcestruzzi;
- materia prima per la fabbricazione di prodotti contenenti fluoro da utilizzare come fondenti;
- materia base per la produzione di acido solforico.

Un'unità pilota della capacità di trattamento di 2 t/g di MCA è stata testata nel 1992 a Brema in un sito di stoccaggio di MCA. Il consumo di acido è risultato di 0,3 t per t di MCA trattato, quello del latte di calce è risultato di 0,15 t mentre il consumo di energia è risultato di 20 kWh per ora di funzionamento. I costi di trattamento stimati, per una unità che tratti 1260 t/anno, possono variare in funzione del prezzo dell'acido fluoridrico tra 1 €/kg e 0,6 €/kg.

Questi costi sono confrontabili con quelli stimati dalla Solvay per l'innocuizzazione del MCA mediante leganti idraulici risultati pari a 0,6 €/kg. Questa tecnica pur consentendo indubbi vantaggi rispetto ad esempio all'inertizzazione con leganti idraulici ha lo svantaggio che i parametri di processo debbono essere accuratamente controllati ed inoltre devono essere messe in atto delle precauzioni particolari (simili a quelle utilizzate nell'industria chimica) per la manipolazione ed utilizzazione dell'acido fluoridrico particolarmente pericoloso.

Una tecnica di attacco chimico mediante l'utilizzo di HF è stata brevettata in Italia dal Dott. C. Sperandio (Processo per rendere inattive strutture mobili o fisse, contenenti amianto o asbesto sotto diverse forme : filamentosa, fibrosa, fiocco, lastra, cartone et similia). Il processo prevede l'eventuale disarmo della carrozza ferroviaria per la rimozione di ciò che è accessorio alla struttura metallica come vetro, materiale plastico, legno ecc. ed una successiva immersione della carcassa in una vasca di reazione ,opportunamente rivestita, contenente acido fluoridrico in 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. L'impianto proposto è completato da un gruppo di abbattimento e lavaggio dei gas uscenti dal reattore ed un chiarificatore per il recupero dell'HF e la separazione dei fanghi. Variante proposta è l'utilizzo del mezzo rotabile come reattore mediante la chiusura ermetica dello stesso e l'immissione di acido dall'esterno mediante opportuni fori di alimentazione e

scarico dell'HF. Il consumo stimato di acido è di 2 t di HF per tonnellata di amianto trattato. Il costo di trattamento non è riportato ma può orientativamente essere inferiore del 40-50% rispetto al costo del procedimento classico di bonifica.

Altri studi alternativi di processi di solubilizzazione chimica dei MCA diversi da quelli su esposti hanno avuto inizio negli anni '80 ad opera di ricercatori britannici che hanno investigato le possibilità offerte dall'utilizzazione degli scarti acidi dell'industria chimica.

Gli esperimenti consistevano nel trattamento del crisotilo mediante attacco di acidi come: miscele di acido nitrico e cromico proveniente dall'industria dei trattamenti elettrochimici; soluzioni di acido solforico proveniente dagli scarti dell'industria per la produzione di biossido di titanio; miscele di differenti acidi (solforico, nitrico, cloridrico, cromico) provenienti da unità di trattamento delle superfici dei metalli. La molarità di queste soluzioni è stata mantenuta rispettivamente a 3,52 - 2,96 - 16,89 in [H+].

Come indicatore della degradazione dell'amianto è stata scelta la quantità di Mg estratta mentre la variazione di morfologia delle fibre è stata investigata mediante osservazione al microscopio ottico a luce polarizzata.

I risultati delle ricerche hanno condotto a dimostrare che solo la soluzione di acido solforico - cromico è capace di distruggere la struttura del crisotilo consentendo un'estrazione del magnesio pari al 90%. Per contro la delicatezza del processo, la durata della reazione, la variabilità compositiva dei MCA nonché la non completa assicurazione dell'eliminazione totale delle fibre di

amianto non hanno consentito uno sviluppo industriale della metodologia.

Negli USA in passato è stata tentata una decomposizione chimica mediante l'utilizzo di H₂SO₄ (brevetto n. 4818143), seguita da una fase di solidificazione dei prodotti ormai inerti che però non ha avuto seguito su scala industriale.

Mediante attacco acido diminuisce la cristallinità del materiale fino a formare un gel amorfo e può essere considerata anche come prima fase di un processo tendente alla produzione di vetroceramici a bassa temperatura. Il gel ottenuto mediante attacco acido può essere infatti miscelato 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. Dopo 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, adatto ad essere usato come frittata (materiali per trattamenti superficiali su ceramici), base per smalti e per strati sottili protettivi su refrattari e laterizi.

8.3 Vetrificazione per fusione

Diversi processi si basano sulla fusione di MCA a temperature molto elevate (fino a 2000°C) oppure condotta con l'aggiunta di svariati additivi (fondenti alcalini in genere) in un ampio campo di temperatura (800-1300°C), seguita da un rapido raffreddamento con produzione di materiale inerte.

Il processo Inertam è stato proposto da un gruppo di imprese creato nel 1992

dalla EDF e Promethèe (promotion de l'Energie Electrique dans les Equipement Thermiques et èlectromècanique). Questo gruppo di imprese ha sviluppato un procedimento di trattamento dell'amianto per fusione a temperature dell'ordine di 1600 °C ad opera di una torcia al plasma di grande potenza per ottenere un prodotto inerte, insolubile ed esente da fibre. Il processo Inertam è attualmente la sola tecnica operativa permessa in Francia per trattare i rifiuti di amianto in alternativa alla messa a dimora in discarica per rifiuti tossico-nocivi. Dopo essere installata e testata per il trattamento di RCA provenienti dallo smantellamento della centrale termica d'Arjuzaux l'istallazione è stata resa operativa a Morcenx (lotissement de cantegrit BP n.23 - 40110 morcenx). La capacità di trattamento iniziale di 4000 t/anno è stata successivamente portata a 8000 t/anno con l'entrata in servizio di una seconda torcia. La capacità autorizzata per lo stoccaggio nel sito è di 2500 t di RCA. L'impianto non tratta i solventi, aerosol ed i materiali ad alto punto di fusione (refrattari ceramici, gli esplosivi, i cartoni) ed i materiali ad alte concentrazioni di Pb, Zn, Hg, As.

L'istallazione è composta da 3 zone in cui avvengono le tre fasi di trattamento.

- zona di caricamento - I rifiuti classificati da inertam secondo due categorie in funzione del loro potere calorifico (MCA con PCI € 20 Kj/sacco da 25 kg a PCI €45 Kj/sacco da 25 kg) devono essere condizionati in mini-bag 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;

- zona di fusione - È costituita da un forno dove l'alta temperatura è assicurata da una torcia al plasma. Questa torcia è stata sviluppata dall'Aerospatiale. La

torcia è costituita da due elettrodi tubolari tra cui scocca un arco elettrico che riceve da un apposito sistema di alimentazione, il gas plasmogeno (aria, CO, H₂, He, H_r, O₂, C_xH_y e miscele di gas). La temperatura ottenuta è di 4000-6000 °C mentre la potenza della torcia è di 1,7 MW. Il dispositivo è equipaggiato di un sistema di raffreddamento in circuito chiuso e di un sistema di sicurezza capace di spegnere rapidamente la torcia del forno in caso di incendio. Il tempo di permanenza all'interno del forno del materiale è dell'ordine di 40 min.

Alla fine del ciclo di fusione si procede alla colatura in siviere all'aria o direttamente in acqua, oppure in sistemi di filatura e/o estrusione. La colatura in acqua trasforma il fuso in un materiale granulare mentre il raffreddamento in siviere determina un solidificato simile ad un mattone di vetro inerte. Con i sistemi di filatura o di estrusione si possono ottenere dei materiali fibrosi simili alla fibra di vetro.

- zona di trattamento dei fumi - prima dell'immissione in atmosfera i fumi del forno sono trattati in un post-combustore. La camera di post-combustione assicura la combustione secondaria a circa 1200 °C dei gas contenuti nei fumi e/o prodotti di pirolisi. I fumi in uscita dalla post-combustione vengono raffreddati, fino al punto di rugiada (170 °C), per aggiunta di acqua vaporizzata e neutralizzati con soda in una apposita torre di neutralizzazione per evitare emissioni acide. Le polveri ed i metalli pesanti sono infine collezionati da un sistema di elettrofiltri e di filtri ad alta efficienza. I fumi scaricati in atmosfera, attraverso una ciminiera, sono costantemente controllati (tenori di Cl, SO₂, Nox ecc.) per essere conformi alle normative europee.

Il sistema è fortemente automatizzato e necessita di una alimentazione elettrica di grande potenza (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. I costi di trattamento variano in funzione della quantità di MCA trattati, dalla tipologia degli stessi ed è stimato tra le 1660 e le 1800 L/kg.

Il processo TERCA è un'altro esempio di vetrificazione mediante torcia al plasma. È stato sviluppato dall'ENEL. e prevede l'utilizzo di un sistema modulare ed intercambiabile per l'ottenimento di prodotti finali immediatamente riutilizzabili sotto forma di granulato inerte. L'impianto che verrà assemblato e collaudato nel mezzogiorno avrà una capacità di trattamento di 5 t/g. Non sono noti i costi di trattamento.

Anche il C.S.M. e l'ENEA hanno messo a punto, a livello di pilota, una versione mobile di capacità ridotta in grado di ottenere un prodotto riutilizzabile nell'industria del vetro o da impiegare per la produzione di lana di roccia. Il costo di trattamento stimato è dell'ordine di 1200 - 1600 L/kg.

Il processo Verultim è stato proposto da Verultim : 21 Rue Jules Guesde - 69210 Saint Genise Laval e brevettato nel 1996 (domanda n. 96.03.144).

Il procedimento è compatibile con i diversi materiali oltre all'amianto rinvenibili nei MCA. Il solo problema è la necessità di selezionare il materiale in ingresso al processo per evitare problemi meccanici alle macchine adibite alla granulazione con l'introduzione di pezzi massivi. Nel processo i MCA sono granulati prima dell'introduzione nel forno di fusione costituito da un

forno statico tipo inceneritore. Il forno è diviso in due sezioni. La prima mantenuta a temperatura di 800-900 °C consente la distruzione dei composti organici e la disidratazione dei MCA prima dell'introduzione degli stessi nel forno di fusione. L'evacuazione del materiale è realizzata attraverso un dispositivo di 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 ad un pH = 8 con 1 g/l di cloruri e solfati, ma variabili in funzione del tipo e quantità dei MCA trattati, sono depurate per un loro completo riciclo.

Il costo stimato del trattamento si aggira intorno alle 0,7 €/kg in fase di avviamento e dell'ordine di 0,5 €/kg a regime. Attualmente il processo è in fase di sviluppo industriale. I prodotti ottenuti sono degli inerti utilizzabili sostanzialmente nell'industria delle costruzioni.

Il processo Mc Neill Vittrification Process (MVP) è stato proposto in Gran Bretagna dalla società VERT (Vitrification and Environmental Recycling Technology Limited, unit 7, Stadium Curt Parkgate, Rotherham S62 6EW). La commercializzazione del brevetto VERT è assicurata dalla Chemical Exchange Directory S.A. (Rue de la Gabelle 9 - CH - 1227 Ginevra).

Una unità pilota è stata installata in Germania nei pressi di Norimberga nel 1996 per trattare diversi tipi di MCA.

Il processo è basato sulla tecnologia convenzionale per la fabbricazione del

vetro con le adatte modifiche per la manipolazione ed il dosaggio di rifiuti pericolosi ed è adattabile al trattamento di materiali di diversa origine come:

- materiali a fine vita come batterie, catalizzatori, filtri, tubi fluorescenti;
- scarti di lavorazione composti da residui metallurgici, scarti industriali delle pitture, scarti elettrolitici;
- scarti minerali come suoli contaminati, metalli pesanti, ceneri d'inceneritori, polveri di filtrazione;
- scarti organici come oli usati, residui di distillazione;
- materiali fibrosi come fibre di vetro, fibre ceramiche, lana di roccia, amianto

Il processo è suddiviso in tre fasi.

- Analisi dello scarto : questa fase permette di definire la composizione dello scarto e la sua variabilità composizionale nel tempo per ottimizzare la composizione della miscela adatta alla vetrificazione;
- miscelazione : lo scarto industriale è miscelato con le materie prime come SiO_2 , allumina (Al_2O_3), carbonato di magnesio (MgCO_3), carbonato di calcio (CaCO_3). Le proporzioni delle fasi minerali sono accuratamente controllate al fine di mantenere costante la composizione della miscela. Quest'ultima quindi trasferita in una tramoggia di stoccaggio ed introdotta automaticamente nel forno di fusione;
- 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 $1550\text{ }^\circ\text{C}$.

Il contenuto organico della miscela subisce una pirolisi ed una

decomposizione completa mentre le frazioni minerali fondono e sono disciolte nel vetro. Al fine di consentire un tempo di combustione sufficiente della materia organica il forno è dimensionato in modo tale da ottenere, per i composti volatili, un tempo di residenza nella zona a 1550-1550 °C di 2 secondi. Per assicurare una fusione completa del materiale ed una omogeneità di composizione il tempo di residenza della carica all'interno del forno è di circa 6 ore. Le emissioni gassose sono controllate attraverso un sistema di trattamento dei gas a recupero di calore. Il sistema di trattamento dei gas comprende un sistema di filtraggio in ceramica e delle torri di lavaggio in ambiente acido, alcalino e neutro. L'ultima fase è costituita da un raffreddamento del gas (70°C) che provoca la condensazione del vapore d'acqua. L'acqua di condensazione e le acque di lavaggio sono trattate per essere riciclate nell'impianto o scaricate come acque municipali.

Il vetro fuso è estratto mediante un dispositivo di colaggio posto sul fondo del forno stesso e raffreddato in un bacino di acqua fredda. Il residuo che si ottiene può essere valorizzato come granulato. Il costo di trattamento è stimato essere inferiore alle 0,95 €/kg.

Il processo VitriFix è stato messo a punto in Gran Bretagna (brevetto europeo n. EP 0145.350A2 pubblicato nel 1985). In questo processo il bagno di vetro fuso è mantenuto all'interno di un forno elettrico tipo Verrier ad una temperatura superiore alla temperatura di decomposizione dell'amianto. I MCA sono introdotti insieme a scarti di vetro granulati all'interno del forno di fusione con aggiunta di un fondente come NaOH (soda). Gli scarti di vetro possono essere sostituiti dalla materia base abitualmente utilizzata nella fabbricazione del vetro (carbonati e sabbie). La vetrificazione avviene ad una

temperatura superiore a 1000 °C. L'impianto comprende due sezioni. La prima di stoccaggio e miscelazione dosata dei MCA, 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. La seconda costituita dal forno elettrico a 1350-1380 °C in cui avviene la fusione mantenuto in depressione per evitare l'emissione di fibre nell'ambiente. Una sezione di trattamento fumi (filtraggio e condensazione) completa l'impianto. I tempi di residenza del materiale nel forno sono di circa 1 ora. Il fuso è quindi colato in un bacino di acqua principalmente per la produzione di granulati. Attualmente il processo è stato collaudato in un impianto equipaggiato con un forno della capacità di 5 t/giorno ma a breve è prevista la commercializzazione di forni da 100 t/giorno di RCA con consumi di energia stimati in 1000 KW/h.

Il Procedimento di fusione per induzione CEA è proposto dalla CEA (brevetto francese FR 2668.726) e la licenza del brevetto è stata ceduta ad un gruppo industriale denominato ONETT. Il processo prevede la fusione delle fibre di amianto in un forno ad induzione. La temperatura di fusione è controllata e l'aggiunta di un fondente tipo borace può essere effettuata allorché la temperatura supera una soglia controllata (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. Non sono noti i costi di

trattamento e non si conoscono applicazioni industriali del processo.

Il processo DEFI-SYSTEMES è stato proposto dalla società DEFI-SYSTEMES a Nimes (94 avenue Fleming 30900 nimes) (domanda di brevetto n.9607262).

Questa tecnica utilizza un forno ad alta frequenza. A differenza di un forno ad induzione che necessita di un materiale conduttivo per ottenere un'innalzamento della temperatura il processo proposto utilizza le proprietà isolanti dell'amianto. È stata realizzata un'installazione pilota della potenza di 40 KW. Il costo stimato di trattamento è inferiore alle 0,45 €/kg calcolato a partire da un'installazione della capacità di 500 kg/giorno. Attualmente il processo è in fase di sviluppo industriale.

Il processo I.N.P.G. Enterprise è un procedimento di fusione per induzione magnetica ad alta frequenza messo a punto dalla I.N.P.G. Enterprise (Politecnico di Grenoble) che prevede una fusione graduale dei MCA mediante induzione magnetica in un serbatoio metallico raffreddato ad acqua. Il prodotto fuso si solidifica autocreando così un crogiolo isolato. L'impianto pilota prevede un serbatoio di 600 mm di diametro, necessita di 100 kv di potenza e di 100 kHz di frequenza. Produce un inerte vetroso utilizzabile per costruire strade e ripristinare cave ed il costo di trattamento stimato è di 400 L/kg.

Il processo di vetrificazione ENEL è stato proposto dal Centro Ricerche e Valorizzazione Residui dell'ENEL S.P.A. (brevetto n. MI98A002194) e testato su un impianto industriale in Toscana. Il processo proposto prevede l'utilizzo di ceneri leggere di carbone quale agente vetrificante ed un ciclo termico di fusione a temperature non superiori a 1250 °C per circa un'ora. Il vetrificato si ottiene mediante colaggio del fuso in una piscina di

raffreddamento. Il procedimento è stato testato su rifiuti provenienti dalla decoibentazione di vapordotti (costituiti per l'80% di amosite e dal 20% di legante a base di calcite) in un impianto costituito da:

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

Il processo testato su miscele di MCA sino al 60% in peso hanno dimostrato l'efficacia della metodica ottenendo dei vetrificati esenti da amianto con un consumo energetico stimato in 0,5-0,8 Kwh/kg e l'efficacia dei sistemi di contenimento delle fibre aerodisperse.

Non sono stati ancora resi noti i costi di trattamento in quanto lo schema di processo non è stato ancora ottimizzato. Sono infatti ancora in corso prove per verificare la fattibilità di uno sviluppo su scala industriale.

Nel 1989 è stato messo a punto dall'ENEA un processo di fabbricazione del vetro che prevede 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. Il processo è preceduto da un pretrattamento di essiccazione e macinazione del materiale, dall'aggiunta di additivi a basso costo (reflui metallurgici e galvanici, polveri di abbattitori). Il materiale risultante è costituito per il 40-60% di MCA trasformato e a seconda degli additivi usati può costituire un materiale vetroso sodico-calcico da impiegare nell'industria del vetro o un materiale vetroso borosilicatico riutilizzabile per la pavimentazione stradale. Il costo di trattamento è stato stimato variabile dalle 1300 alle 1600 L/kg a fronte di una potenzialità dell'impianto di 700 kg/giorno.

Studi sullo smaltimento dei MCA mediante produzione di lana di roccia sono stati realizzati a partire dagli anni '70 dal Department of Energy Mines and Resources canadese allo scopo di valorizzare gli scarti delle lavorazioni minerarie dell'amianto nella regione del Quebec. Questi studi hanno dimostrato la possibilità di ottenere a partire da scarti industriali della lavorazione di rocce amiantifere miscelate con sabbia della lana di roccia di ottime caratteristiche tanto da poter essere impiegata come isolante termoacustico. In alternativa in Europa sono stati proposti dei processi per ottenere lana di roccia a partire da additivi economici come i prodotti di scarto, le scorie ed i refrattari provenienti dall'industria siderurgica. Tenuto conto che i materiali refrattari sono composti principalmente da SiO₂ e Al₂O₃ mentre le scorie di acciaieria o di altoforno sono caratterizzate da un diverso rapporto CaO/SiO₂ l'ottenimento di un prodotto qualitativamente valido presuppone che il rapporto $(SiO_2 + Al_2O_3) / (CaO + Mg + Fe)$ debba essere accuratamente controllato e prossimo all'unità. Qualora tale rapporto

differisca dall'unità (conosciuto dalle analisi del MCA e dell'additivo) è possibile correggerlo tramite l'aggiunta di silice o allumina. Il trattamento prevede un'iniziale fusione a 1300-1450 °C dei MCA ai quali soltanto in un secondo tempo si aggiungono gli scarti siderurgici premacinati ad una dimensione di 1-3 mm, seguita dalla filatura del materiale fuso in un piatto rotante in refrattario. L'agitazione della miscela è garantita meccanicamente o da una corrente di azoto. Per la successiva filatura è necessario che la viscosità si mantenga compresa tra 20 e 200 Pa/s.

In Italia il brevetto detenuto da C.S.M. (1993) consente di ottenere un materiale coibente ed isolante valido per l'edilizia. Il costo di trattamento non è stato dichiarato.

Studi su processi di vetrificazione sono stati condotti dall'ENEA su scarti di MCA costituiti principalmente da cemento-amianto. Sono state testate a livello di laboratorio diverse condizioni operative quali la composizione della miscela di scarti utilizzata, tipi di fondenti e la temperatura di lavoro. Come fondenti vengono utilizzati silice (SiO₂) e carbonati di sodio o prodotti a base di boro. Lo studio ancora nella fase di laboratorio ha dimostrato che il prodotto finale è costituito da un vetrificato inerte che può essere utilizzato come materia prima per la fabbricazione di vetri colorati, fritte, fibre di vetro, isolanti termici o acustici o nell'industria edile.

Il processo di litificazione prevede il raggiungimento di una fase di fusione compresa tra i 1300 ed i 1450 °C ed una di parziale cristallizzazione ottenuta per lento raffreddamento (in genere all'aria). Il prodotto ottenuto presenta una durezza di 5-6 della scala Mohs, un elevato peso specifico (3,15 - 3,20 g/cm³) ed una ottima resistenza meccanica sia alla compressione che alla trazione che

lo rendono idoneo per applicazioni nell'industria delle costruzioni. Una variante del processo può prevedere la filatura del fuso. I materiali ottenuti da fusione di MCA sono in sostanza vetri, contenenti fasi cristalline in quantità non rilevante (0-25%) e costituiti da ossidi di ferro, titanio, alluminio, e da silicati di magnesio, calcio, ferro ed alluminio. La componente vetrosa è invece molto simile ad un'ossidiana, composta quindi da un vetro silicatico ricco in ferro, calcio e alcali, spesso derivanti dai fondenti usati nella fusione.

Alcune sperimentazioni sono state condotte nel Centro Sperimentale Metallurgico dell'IRI (ex ILVA) su MCA con un forno ad induzione capace di raggiungere i 2000 °C. Le temperature di esercizio sono risultate di circa 1550 °C determinando un materiale esente da amianto adatto per la sua densità ($d > 2,7-2,8 \text{ g/cm}^3$), porosità e resistenza alla compressione ($s @ 700 \text{ Mpa}$) per l'industria delle costruzioni. Il costo stimato di trattamento è risultato di 300 L/kg che dovrà essere verificato in un impianto pilota di maggiori dimensioni rispetto a quello con cui sono state eseguite le prove sperimentali.

Con il termine di litificazione pirolitica si indica la conversione di un qualunque prodotto, che subisce un processo pirolitico, in presenza di un materiale inorganico, in genere argilla. In conseguenza di tale processo la componente inorganica del prodotto si lega all'argilla dando luogo ad un prodotto solido, mentre la componente organica è decomposta partecipando alla combustione. Questo termine è stato introdotto in letteratura tecnica per indicare un procedimento di smaltimento di reflui, che vengono immessi in un processo industriale, in cui si opera ad elevata temperatura ed in presenza di materiali silicei. L'aspetto interessante di questa tecnica è quello di inglobare

nel processo produttivo reflui di vario genere realizzando una molteplice finalità e cioè l'utilizzazione del refluo che può fungere come materia prima seconda ed in pari tempo il suo smaltimento senza dar luogo ad alcun materiale residuo.

È stato proposto di smaltire i MCA attraverso la produzione di argilla espansa. Quest'ultima viene prodotta da una miscela di argilla purificata con un contenuto medio di acqua pari al 22-24% e di olio combustibile pari allo 0.8%. La preparazione avviene attraverso quattro fasi principali: una fase di essiccazione, una di combustione, una di fusione parziale e una di raffreddamento. La miscela viene prima essiccata in una prima sezione di un forno di cottura mediante bruciatore diretto sull'impasto che porta la miscela a circa 300 °C. In questa fase si determina inizialmente la perdita di acqua di assorbimento, successivamente dell'acqua interstrato ed infine dell'acqua di costituzione e inizia la demolizione della struttura cristallina dell'argilla.

Il materiale essiccato entra quindi a circa 1000 °C dove avviene la combustione delle sostanze organiche e per rapido effetto dell'aumento di temperatura si ha un'espansione del granulo di argilla per la fuoriuscita del gas generato dalla combustione dell'olio combustibile.

Man mano che la miscela avanza nel forno la temperatura raggiunge i 1300-1400 °C; i granuli che la compongono sono sottoposti ad un repentino aumento della temperatura ed alla conversione dello strato esterno in una fase plastica con successiva formazione di uno strato esterno vetroso.

Data la bassa conducibilità termica del materiale, permane un gradiente di temperatura fra questo strato e la parte più interna dei granuli e ciò consente di non portare a fusione l'intera massa che nel suo interno mantiene una

struttura porosa. Ad alta temperatura le argille possiedono la capacità di fissare ioni metallici estranei alla struttura originale, sia per la sostituzione di ioni reticolari che per la formazione di nuovi composti cristallini o di soluzioni solide.

Se in miscela all'argilla viene aggiunto del materiale contenente asbesto (crisotilo, amosite, crocidolite etc.) avvengono, data la grande reattività dell'argilla alle temperature, comprese tra 650 °C e 950 °C, delle reazioni (cessione di elementi tra le varie fasi allo stato solido e a cristallizzazioni di fasi a se stanti come la cordierite, mullite etc.) che portano alla formazione di fasi silicatiche.

Prove condotte su impianti industriali adibiti alla produzione di argilla espansa introducendo sino al 20% di carica nel forno costituita da MCA hanno fornito risultati interessanti producendo delle argille espansive di caratteristiche tecniche simili a quelle commerciali.

La vetroceramizzazione è stata proposta per produrre materiali vetroceramici a partire da reflui industriali . Questi processi si basano su una fusione ad elevata temperatura (1350-1550 °C), una omogeneizzazione del fuso, una fase detta 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 degassaggio del materiale di partenza e dal tipo di lavorabilità che deve avere il materiale finale. I campi di utilizzo del vetroceramico dipendono dal tipo di cristalli nucleati, dal grado di cristallizzazione e dalla microstruttura presente nel materiale vetroceramico.

In alcuni processi il rifiuto viene fuso a temperature comprese tra i 1300°C 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 i 750 e 850°C.

Nel processo Amglas '96 e Ceram '93 (brevetto europeo EP 0 696 553 A1) è stato proposto di miscelare i MCA con i reflui provenienti dall'estrazione elettrolitica dello zinco (fanghi rossi). I MCA miscelati con acqua (30-70% in peso) vengono macinati sino ad ottenere un d80 pari a 10-60 micron 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 fanghi pari al 10-25%) è possibile effettuare un'ulteriore aggiunta di carbonati (CaCO₃ ed Na₂CO₃) o scorie vetrose in percentuale variabile dal 15 al 60%. Il processo si completa attraverso una fusione a temperatura compresa tra i 1100 ed i 1400 °C ed una cristallizzazione realizzata mediante un riscaldamento in forno a 600-900 °C della durata variabile da 1 a 6 ore. Questo processo, testato solo a livello di laboratorio, permette di ottenere prodotti con una

elevatissima percentuale di fase cristallina e classificabili come vetroceramici interessanti per la loro elevata temperatura di fusione, basso coefficiente di dilatazione termica e elevatissima resistenza all'abrasione e quindi utilizzabili nel campo dei materiali da costruzione, nel campo dei refrattari oppure come materiali da rinforzo o materiali da attrito.

Il procedimento di inertizzazione mediante fusione consiste nel portare ad alta temperatura (1600°) i rifiuti contenenti amianto; dopo la loro fusione si ottiene un prodotto inerte, insolubile, di tipo "vetro".

Infatti, le temperature elevate permettono di distruggere totalmente le fibre di amianto aventi il più elevato punto di fusione. Queste temperature sono ottenute mediante torcia al plasma di grande potenza (4000°C/6000°C) adattata per la distruzione dei rifiuti.

L'impianto insediato a Morcenx, in Francia, nel Dipartimento delle Landes, aveva una capacità di produzione di 4000 T nel 1996, portate progressivamente a 8000 T entro il 1997. La capacità di stoccaggio è di 2500 T di rifiuti sul sito.

Lo schema principale dell'installazione è il seguente:

Alimentazione elettrica: cabina 5500 V, Contenitore per torcia al plasma 5500 V, altre apparecchiature a 220/380 V, gruppo elettrogeno di soccorso. Una cabina contiene tutti i sistemi di sicurezza e di controllo.

Il sistema di carico del forno: sistema automatico di immissione dei colli, con pesatura e controllo della quantità di materiale introdotto nel forno.

Il forno ad alta temperatura è realizzato per funzionare a 1600°C con un massimo di 1900°.

Torcia al plasma: si tratta di una torcia ad arco soffiato di 1750 KW di cui 1435 KW termici restituibili. Il gas plasmogeno utilizzato è l'aria naturale in pressione. La torcia raggiunge una temperatura di 4000/6000°C nel punto di contatto.

La camera di postcombustione che è unita al forno assicura una combustione totale dei gas formati durante il trattamento dei rifiuti. E' strutturata in modo da garantire un tempo di transito minimo di 2 secondi ad una temperatura di 1200°C.

Il trattamento fumi riceve gas provenienti dalla postcombustione a 1100°; un impianto di raffreddamento fa scendere la temperatura a circa 300°C; una torre di neutralizzazione dei fumi trasforma gli eventuali acidi in sali di sodio che saranno captati dal filtro di uscita.

Il filtraggio avviene in due tempi: un filtraggio primario attraverso un elettrolitro, un filtraggio secondario mediante 8 batterie di filtri in parallelo; un camino di 18 metri con un ventilatore aspirante completa l'impianto.

In sala controllo e comandi un sistema di controllo dialoga in continuo con tutti gli strumenti di misura e gli automatismi e assicura le varie sequenze di partenza o di arresto: esegue le regolazioni dei livelli di esercizio, stampa, traccia tutte le curve delle misure di controllo che consentano di seguire la buona regolazione dell'impianto.

La piattaforma può funzionare 24 ore su 24.

Risultati: la trasformazione delle fibre è totale, non c'è alcuna traccia nel

prodotto di fusione. In più non c'è nessun inquinamento da fibre nei fumi, sia nell'installazione che nelle vicinanze. Le analisi delle polveri e il conteggio delle fibre sono effettuate regolarmente in tutti i punti dell'installazione da Enti esterni. Le emissioni gassose sono permanentemente sotto controllo e soddisfano le esigenze della legislazione europea.

Bilancio globale: per una tonnellata di rifiuti trattati entrati in forno si ottengono: 85% prodotti di fusione, 14% di gas, 1% di ceneri secondarie. La riduzione in massa dei rifiuti è di 23. rifiuti d'amianto densità circa 0,20, rifiuti di fusione densità circa 3,5/3,6. Il prodotto di fusione viene impiegato come riempimento per la massicciate stradali.

8.4 Trattamenti di conversione termica

Contrariamente alla fusione-vevtrificazione queste tecniche consistono nel trattare dei materiali a temperature inferiori alla temperatura di fusione dell'amianto eventualmente in miscela con altre sostanze. Le trasformazioni termochimiche allo stato solido conseguenti consentono la conversione dell'amianto in specie mineralogiche di sintesi e non pericolose. Di contro lavorare a basse temperature comporta un più accurato controllo del processo che eviti in caso di non corretto funzionamento del forno (ad esempio abbassamento della temperatura di lavoro) un prodotto in uscita non completamente innocuizzato.

Il Processo Asbestex è stato proposto in Germania dalla società Asbestex System GmbH (Leisse 11 B D. 44287) Dortmund (brevetto europeo EP 0484.866).

Un impianto pilota è attualmente operativo a Neustadt/Glewe in Germania.

I materiali contenenti amianto sono stoccati in sicurezza ed introdotti successivamente in una zona “nera” mantenuta in depressione (l’aria aspirata è opportunamente trattata). In questa zona gli imballaggi vengono aperti e sottoposti ad analisi per definire i parametri di trattamento (temperatura e durata del trattamento). Il materiale è quindi granulato in un mulino speciale e trasferito in aspirazione ad un forno rotativo dove la temperatura raggiunge i 1200 °C. L’inclinazione del forno e la velocità di rotazione possono essere regolati per variare il tempo di permanenza della carica. I gas emessi vengono trattati prima dell’immissione in atmosfera. L’impianto pilota di Neustadt ha una capacità di trattamento di 0,8 m³/h ma è in sviluppo una unità da 2,5 m³/h. Il prezzo di trattamento stimato per una quantità superiore a 50 m³ di materiale sono dell’ordine di 0,3 €/kg e comprendono il trasporto, deposito dei contenitori e le diverse formalità amministrative.

I materiali in uscita al processo possono essere utilizzati come granulati per l’industria delle costruzioni (produzione di gesso come additivo e di asfalto come materiale di riempimento) o nell’industria della ceramica.

Il Processo Asbestos Conversion System (ACS) è stato proposto 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) che in Italia è rappresentata dalla Saver s.r.l..

Questa tecnica permette di trattare tutti i tipi di MCA compreso il vinil-amianto. I MCA sono introdotti in un frantoio che ne riduce la pezzatura a

valori inferiori a 25 mm. I materiali granulati vengono vagliati a 2,5 mm ed il sopravaglio viene rinviato alla fase di frantumazione. Il passante viene stoccato in un alimentatore dove viene aggiunta una soluzione alcalina al 5-7% di borace come agente “mineralizzante”. Il materiale umido (10-25% di acqua) viene convogliato in un forno rotativo mantenuto alla temperatura di 1200 °C. Il forno è alimentato con 300 kg/h di materiale mentre la velocità di rotazione e l’inclinazione sono regolati per ottenere un tempo di residenza del materiale di circa 1 h. Il prodotto risultante viene scaricato per gravità in una vasca contenente acqua quindi è estratto e trasferito in un recipiente di stoccaggio. I fumi ed i vapori emessi sono trattati prima di essere scaricati in atmosfera. Nel forno rotativo vengono introdotti circa 600 kg/h di aria (eccesso di aria del 100%) utilizzata per trattare i composti organici. L’aria di processo, il vapor d’acqua, i prodotti di combustione dei composti organici, i vapori del bagno di tempra sono trattati con soluzioni di soda mentre i gas sono raffreddati prima di essere scaricati in atmosfera attraverso un filtro HEPA. I prodotti ottenuti dal trattamento, a seconda della tipologia del MCA in alimentazione all’impianto, sono costituiti da minerali quali forsterite, enstatite, periclasio, diverse forme di silice e delle fasi vetrose oltre a residui carboniosi. I possibili campi di impiego sono come:

- materiali per l’industria delle costruzioni;
- granulati per il calcestruzzo;
- fertilizzanti o stabilizzanti dei suoli;
- controllo del pH nei processi di trattamento dell’acqua.

I costi di trattamento stimati per un quantitativo di 3500 t/anno di MCA sono

dell'ordine di 0,2 – 0,3 €/kg

Il processo di ceramizzazione definito Cordiam (brevetto RM95A000269 e brevetto europeo EP 0 696 560 A1). si propone di utilizzare la miscelazione del rifiuto contenente amianto con caolinite o caolinite-illite per ottenere mediante trattamento termico un prodotto a cordierite.

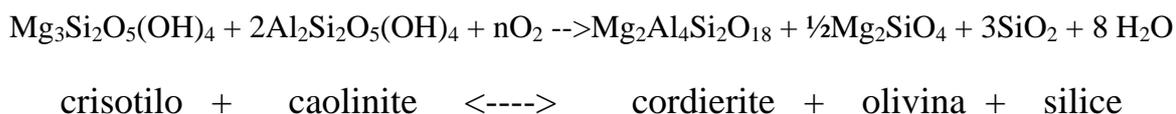
La cordierite $(Mg,Fe)_2Al_4Si_5O_{18}$ è un silicato con struttura simile a quella del berillo: la modificazione di bassa temperatura, di struttura ortorombica contiene anelli a sei tetraedri $(Si,Al)O_4$. Ogni anello è legato ad anelli simili attraverso due dei quattro ossigeni di ciascun tetraedro 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.

Il metodo per la produzione di ceramici consiste in una serie di trattamenti termici compresi tra 600 °C e 1100 °C effettuato su miscele di RCA ed argilla ricca in caolino. A seconda del tipo di materiale in ingresso al processo, tali miscele possono essere preparate ed utilizzate in rapporto 1:1 e 1:2 al fine di convertire i minerali di asbesto in materiali classificabili come ceramici.

È stato dimostrato infatti che l'uso di argilla di tipo caolinico, anche di bassa qualità, interagisce mediante scambio ionico con i minerali di amianto dando

luogo a fasi non fibrose ed utili per l'industria.

La reazione che si ipotizza è la seguente:



Una medesima reazione avviene anche per l'amosite e la crocidolite, con modificazioni sul tipo di prodotti accessori; in particolare l'amosite tende a perdere ossidi di ferro, mentre la crocidolite tende a dissociarsi in silico-alluminati di sodio.

Le fasi di partenza reagiscono indipendentemente, fino alla temperatura di 800 °C, oltre la quale iniziano reazioni di scambio e cristallizzazione.

In particolare 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 hanno una serie di fasi di transizione in cui si formano fasi silico-magnesiache parzialmente amorfe. La caolinite ha una reazione di deidrossilazione endotermica tra 550°C e 700°C; dopo questa reazione la caolinite risulta decomposta 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 550 °C e 950 °C; in questo intervallo termico hanno luogo le reazioni tra la componente silico-magnesiaca (probabilmente in stato amorfo) e la componente silico-alluminosa della

metacaolinite e della fase amorfa associata.

La reazione citata può subire alcune modificazioni parziali nella temperatura in base alla presenza di sostanze inquinanti (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 cordierite ed akermanite, un silicato di calcio e magnesio.

La reazione su indicata è estremamente veloce ed è stata testata su oltre 100 tipologie di materiali contenenti amianto oltre che su amianti puri.

Tra i prodotti ottenuti quelli più interessanti dal punto di vista commerciale sono:

- polveri ceramiche inerti contenenti olivina, enstatite, mullite (tra i 750 °C e 950 °C);
- sinterizzati leggeri ($d=1.05 \text{ g/cm}^3$) contenenti enstatite, mullite, cordierite (tra 950 °C e 1100 °C);
- sinterizzati pesanti ($d=1.8-2.6 \text{ g/cm}^3$) contenenti cordierite ed enstatite/mullite (tra 1100 °C e 1300 °C).

In base al tipo di utilizzo finale, i prodotti ottenuti dal processo di ceramizzazione possono essere suddivisi in:

- 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.

- 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.

- 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°C) e possono essere impiegati nella fabbricazione di pannelli isolanti.

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, nella quale compaiono silicati di calcio, alluminio, magnesio e ferro.

I relitti del preesistente amianto mostrano forme allungate, ma molto facilmente riconoscibili dagli amianti sia per la loro morfologia, sia per la loro composizione chimica e strutturale

Il costo stimato del trattamento testato attualmente solo in laboratorio è variabile a seconda del tipo di MCA trattato circa 0,35 €/kg. Il brevetto è stato ceduto in comodato d'uso alla società Ecotec S.r.l. per il trasferimento in scala pilota e successivamente industriale.

Da quando è stata accertata la pericolosità connessa all'impiego delle fibre di

amianto sia come materia prima sia come componente di materiali compositi, la ricerca sui materiali sostitutivi ha portato alla sintesi di nuove fibre e alla riscoperta di materiali già conosciuti ma ancora poco utilizzati. 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 ($\text{Ca}(\text{SiO}_3)$) e trova largo impiego nella preparazione di fibro-cementi, 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.

Come variante al processo di ceramizzazione è stato proposto un processo per la produzione di materiali sostitutivi dell'amianto (brevetto MI 98A 002194) che abbiano struttura cristallina e morfologia fibrosa e siano del tutto inerti dal punto di vista sanitario.

Il processo si basa sulla miscelazione di residui a composizione prevalentemente calcica (scarti dell'industria edile) con residui a composizione prevalentemente silicatica (scarti vetrosi) ed il loro successivo riscaldamento a temperature comprese tra gli 850°C ed i 1100°C . In questo modo si assicura la formazione di un materiale sintetico del tipo wollastonite e contemporaneamente la completa degradazione termica di tutti i tipi di amianto. I reflui da utilizzare nel processo devono possedere i seguenti requisiti:

- avere una componente amorfa preponderante;

- essere facilmente preparabili (minima necessità di macinazione);
- avere delle temperature di reazione sufficientemente basse da poter limitare il costo di trattamento.

A seconda del contenuto in amianto del MCA si devono miscelare le varie componenti in proporzioni tali da produrre un materiale in cui la concentrazione di wollastonite sia la più alta possibile.

Se si utilizzano manufatti in cemento-amianto (coperture di eternit, tubi, serbatoi etc.) 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°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 componente amianto di crisotilo, a circa 600°C, subisce una fase di deidrossilazione che produce una completa demolizione della struttura e una successiva trasformazione in una fase amorfa, denominata metacrisotilo. A circa 850°C il vetro inizia il rammollimento ed entra facilmente in reazione con la miscela residua delle fasi del cemento-amianto. 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.

Lo smaltimento dei MCA mediante Produzione di clinker è stato studiato da molteplici laboratori presenti nelle cementerie europee. Molti di questi lavori non sono stati resi noti per ovvie ragioni di riservatezza e non sono noti sviluppi industriali mirati dei processi investigati in laboratorio. La maggior parte dei lavori sono orientati al riciclaggio di rifiuti di cemento-amianto. Questi materiali possono costituire una sorgente di materia prima calcarea e silicea in quanto costituiti da cemento con cariche di amianto di tipo principalmente crisotilo in ragione del 10-15%. Nel caso del trattamento termico ad alta temperatura il crisotilo puro può generare forsterite (Mg_2SiO_4) mentre a più alta temperatura i gruppi MgO sono sostituiti da gruppi CaO producendo ossidi di magnesio (MgO) e silicati di calcio (Ca_2SiO_4). L'ossido di magnesio (periclasio) può condurre ad un comportamento anomalo nella fase di idratazione (specialmente espansione) del cemento prodotto. L'amianto-cemento può essere dunque utilizzato come materia prima per la preparazione delle cariche per produrre cemento a condizione di tener in debita considerazione presente l'apporto supplementare di magnesio del crisotilo presente nel MCA. Gli studi condotti sono in genere orientati a definire i rapporti stechiometrici di CaO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ a differenti temperature di calcinazione tra i 1100 °C e i 1400 °C al fine di mettere in evidenza la formazione di alite (Ca_3SiO_3 che è il composto principale del cemento Portland). Aggiunte di CaF₂ (fluoruro di calcio) sono state testate per permettere la formazione di questi minerali a più bassa temperatura. È stato quindi dimostrato che è possibile preparare un legante

idraulico di composizione molto simile al cemento standard per semplice apporto di CaO e CaF₂. Gli autori di questi studi (che hanno prodotto due brevetti in Germania n. DE 43 12102 A11 e DE 44 11 324 A1) hanno dimostrato che è possibile trasformare termicamente 50 t/giorno di cemento-amianto in una unità da 3000 t/giorno senza modificare sostanzialmente la composizione del cemento prodotto.

La difficoltà di trasferire questa tecnologia risiede nel fatto che il cementificio dovrebbe subire complesse e costose modifiche (vedasi ad esempio la granulazione in ambiente controllato) per essere idoneo a trattare in sicurezza rifiuti tossico-nocivi.

Più immediato è il trasferimento della metodologia in impianti che seguono la via umida di produzione del cemento, tecnica questa ormai in via di abbandono (in Italia ad esempio esiste un solo impianto che segue la via umida di produzione).

Per ovviare a questi inconvenienti è stato proposto di trattare termicamente ad una temperatura non superiore ai 900 °C (per evitare la formazione di periclasio) il cemento-amianto in unità separate al fine di degradare la componente asbestoide. Il cemento-amianto trattato, in condizioni controllate di temperatura, produce dei silicati di calcio che possiedono delle proprietà idrauliche. È stata quindi verificata con successo la possibilità ,più interessante dal punto di vista economico, di produrre dei cementi di caratteristiche tecniche simili a quelle commerciali a partire da clinker ottenuti miscelando il 5-10% di prodotti di degradazione termica del cemento-amianto. Questa via può consentire di eliminare grandi quantità di cemento-amianto.

Non si conoscono installazioni adibite al trattamento dei rifiuti di cemento-amianto eccetto la cementeria sita in svizzera a Eclepens il cui studio è stato sviluppato dall'Ecole Polytechnique Federale di Losanna. La cementeria tratta scarti di amianto da diversi anni. L'impianto è stato opportunamente modificato sia nel circuito sia nel sistema di utilizzo di combustibili secondari come le gomme usate. Il costo di trattamento dei MCA è risultato di 0,35 €/kg.

Il processo messo a punto dall'Italcementi (brevetto MI92A001803) è orientato al riciclo di manufatti di Eternit per la produzione di cemento idraulico. Il processo prevede un trattamento termico (dai 600 ai 800 °C) senza preventiva macinazione del materiale. Il materiale trattato presenta ancora una certa reattività idraulica e può essere quindi reimmesso nel ciclo di produzione del cemento o come materia prima in aggiunta alla farina per la preparazione del clinker o come correttivo del clinker stesso per la preparazione del cemento tenendo comunque presente l'apporto di Mg dovuto al crisotilo contenuto per il 90% nell'eternit.

Vi è da considerare comunque che le prove sperimentali hanno dimostrato che la quantità massima di MCA trattabile, per ottenere dei cementi di caratteristiche tecniche simili a quelle commerciali, non può superare il 5% in peso.

8.5 Processi metallurgici

I processi metallurgici sono orientati al trattamento del crisotilo come fonte

potenziale di magnesio.

Il processo Magram (Magnesium Recovery from Asbestos Waste Materials) è stato messo a punto all'Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Università di Manchester (università di Manchester e UMIST - Manchester Material Science Centre Grosvenor street Manchester M17Hs).

La tecnica deriva da un processo classico di fabbricazione del magnesio (processo magnetherm) consistente nella riduzione in un forno 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, della dolomite sottoposta a calcinazione per la formazione di MgO e del 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 sottoforma 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. Reazioni parassite dell'aria con la produzione di ossidi e nitruri di magnesio possono portare a perdite sino al 25% di metallo.

La versione del processo sviluppata per il trattamento dei MCA (processo magram) utilizza come materia prima dolomite e materiali contenenti amianto (fibre di amianto, amianto-cemento, scarti dell'industria mineraria etc.). 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
- produzione di magnesio massima : 20-25 kg/h

L'unità è completata da una zona di trattamento dei fumi. I costi di trattamento sono stati stimati in 4 €/kg che possono essere ridotti anche del 40% ottimizzando l'impianto e le sue condizioni di marcia. Non sono note allo stato attuale applicazioni industriali del processo.

Il processo Magnola è stato sviluppato per trattare i residui dei trattamenti minerari canadesi di crisotilo. Il progetto prevede un'associazione di imprese quali la Metallurgica Noranda Inc. (52%), Societ  Generale de Financement (16%), una societ  d'ingegneria SNC-Lavallin (16%) ed una societ  giapponese AISIN SEIKI (16%).

Il processo prevede la costruzione di una unit  di trattamento per la produzione di magnesio per processo elettrolitico sviluppato dalla societ  Noranda Inc.. Una unit  pilota   stata realizzata a Salabery (Montreal) in un sito industriale di una filiale di Noranda.

8.6 Trasformazione meccanochimica

I trattamenti meccanici, inventati in Giappone e negli USA, si basano sul principio della distruzione dei reticoli cristallini e dei legami molecolari attraverso l'immissione di elevate quantit  di energia che portano alla demolizione dell'impalcatura cristallina e alla creazione di un materiale amorfo, del tutto simile ad un vetrificato, dotato di una grande superficie specifica. Il materiale finale pu  quindi essere potenzialmente utilizzato come catalizzatore nell'industria chimica e come filler in molti prodotti industriali.

La comminuzione dei materiali solidi   uno dei processi di maggior interesse nelle moderne tecnologie legate alla produzione di leghe metalliche addittivate con ossidi diversi o di materiali ceramici sinterizzati. Recentemente i trattamenti di ultramacinazione sono stati sperimentati per riciclare plastiche eterogenee e comuni rifiuti polimerici attraverso macinazioni in mulini a vibrazione a lame, sfere o ad anelli.

L'ultramacinazione sottopone le molecole ed il reticolo cristallino delle componenti del materiale a forze meccaniche concentrate, ad intense sollecitazioni di compressione e taglio, a deformazioni elastiche e plastiche che ne modificano profondamente le caratteristiche fisiche e le proprietà chimiche.

Il risultato di queste sollecitazioni è una serie di alterazioni che compaiono sia a livello microscopico che macroscopico. In particolare le modificazioni irreversibili che vengono indotte possono spaziare dal semplice scorrimento dei piani reticolari con relativa distorsione della cella elementare e riarrangiamenti interni alla struttura fino alla totale decristallizzazione ed amorfizzazione del solido macinato. Parallelamente si possono osservare tutta una serie di fenomeni quali l'aumento della reattività superficiale e la comparse di trasformazioni polimorfiche che in alcuni casi comporta la comparsa di fasi metastabili. Oltre alle trasformazioni polimorfiche possono avvenire trasformazioni di fase allo stato solido o reazioni eterogenee che interessano direttamente la superficie delle particelle solide come le reazioni gas-solido di idratazione, ossidazione, assorbimento e decomposizione.

Parallelamente si possono osservare delle variazioni nella granulometria e morfologia delle particelle che compongono il materiale.

Il trattamento dei minerali asbestoidi puri attraverso l'ultramacinazione è stata investigata da molti autori a livello di laboratorio i quali hanno dimostrato la possibilità di inertizzare questi minerali producendo delle strutture vetrose. Difficoltà esistono ancora per il trattamento di minerali compositi. In ogni caso l'ultramacinazione conduce ad una variazione significativa della morfologia del materiale. Il costo stimato di impianti che trattano 400 t/anno

di MCA per ultramacinazione è di 0,25 €/kg.

9 CONCLUSIONI

Gli studi e le esperienze effettuate sui MCA hanno rilevato la loro pericolosità come fattore crescente all'avanzare del processo di degradazione temporale, facendo sottolineare spesso la necessità di ricorrere a tecnologie di bonifica.

La letteratura e le esperienze fino ad ora testate sull'argomento sono molteplici ed in fase di sviluppo e miglioramento.

Resta comunque ancora aperto il problema dello smaltimento dei RCA, soprattutto alla luce della nuova normativa in materia di discariche.

Il Decreto Legislativo n. 36 del 13 gennaio 2003 classifica le discariche in tre categorie: per rifiuti inerti, per rifiuti non pericolosi e per rifiuti pericolosi. Di conseguenza i rifiuti di amianto o contenenti amianto possono essere conferiti nelle seguenti tipologie di discarica: discarica per rifiuti pericolosi, dedicata o dotata di cella dedicata, discarica per rifiuti non pericolosi, dedicata o dotata di cella monodedicata, nella quale possono essere conferiti sia i rifiuti individuati dal codice CER, Catalogo Europeo Rifiuti, 170605 (materiali da costruzione contenenti amianto, come ad esempio il cemento amianto e il vinyl amianto), sia le altre tipologie di rifiuti contenenti amianto, purchè sottoposti a processi di trattamento finalizzati al contenimento del potenziale inquinante.

Inoltre come stabilito dal Decreto Ministeriale 13 marzo 2003, nelle discariche per rifiuti non pericolosi possono essere smaltiti i materiali edili contenenti amianto legati in matrici cementizie o resinoidi (codice CER 170605), senza essere sottoposti a prove. I rifiuti contenenti amianto diversi

dai su indicati materiali da costruzione, vale a dire con codice CER diverso da 170605, possono essere conferiti nelle discariche per rifiuti non pericolosi soltanto se sono stati sottoposti a processi di trattamento finalizzati al contenimento del potenziale inquinante.

Le prescrizioni imposte dalla normativa rendono decisamente più onerose e complesse le attività di smaltimento in discarica, facendo intravedere invece, nelle numerose metodologie di trattamento e nelle potenzialità tecnologiche esistenti, nuove prospettive di riutilizzo dei MCA.

10 BIBLIOGRAFIA

1. BURDETT GJ, NAGAR N, SMITH L. Removal of asbestos from difficult-to- access large diameter pipes: a comparison of wet removal methods. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 1994; 9 (11): 836 - 844.
2. CLERICI C, LAURIA E, WOJTOWICZ M. La manutenzione di edifici, strutture ed impianti contenenti amianto. *Atti 12° Congresso AIDII. Quaderni di Medicina del Lavoro e Medicina Riabilitativa. Fondazione Clinica del Lavoro. Pavia. 1993.*
3. ERRICHELLO D, MASSOLA A. Efficacia dei provvedimenti di confinamento nel corso degli interventi di bonifica da amianto. *Atti 14° Congresso AIDII. Quaderni di Medicina del Lavoro e Medicina Riabilitativa. Fondazione Clinica del Lavoro. Pavia. 1995.*
4. FERRARI G, MUSSI U, GUERRA G, CORRADINI D, CATENACCI G. Fibre d'amianto aerodisperse in un insediamento urbano sede di unità produttiva del cemento amianto (indagine longitudinale. *Atti 13° Congresso AIDII. Quaderni di Medicina del Lavoro e Medicina Riabilitativa. Fondazione Clinica del Lavoro. Pavia. 1994.*
5. KINNEY PL, SATTERFIELD MH, SHAIKH RA. Airborne fiber levels during asbestos operations and maintenance work in a large office building. *Appl. Occup. Environ Hyg.* 1994; 9 (11): 825 - 835.
6. MARONI M, SEIFERT B, LINDVALL T. *Indoor air quality. Amsterdam, Elsevier Science Ed. 1995.*
7. QUAIANNI T, COLOMBO E, CAMISASCA M, GRAMPELLA D, CANOVA S, BERNARDO N, BAJ A, MAGGI W, FATTORI M. Rischio espositivo a fibre d'amianto in operazioni di manutenzione ordinaria (piccoli interventi) su impianti ed infrastrutture coibentate con amianto. *Atti 14° Congresso AIDII. Quaderni di Medicina del Lavoro e Medicina Riabilitativa: Fondazione Clinica del Lavoro. Pavia. 1995.*
8. RENNA E, PEDRONI C, SALA O, BUZZONI A, MALDOTTI M. Esposizione professionale dei lavoratori durante la rimozione delle coperture in cemento amianto. *Atti 13° Congresso AIDII. Quaderni di Medicina del Lavoro e Medicina Riabilitativa. Fondazione Clinica del Lavoro. Pavia. 1994.*
9. SALA O, RENNA E, BASSOLI M, PIERRO G, SCHIATTI C, ZICCARDI A, FRASCARI M. Esperienza di dismissione di un'azienda produttrice di manufatti in cemento amianto. *Atti 12° Congresso AIDII. Quaderni di Medicina del Lavoro e Medicina Riabilitativa. Fondazione Clinica del Lavoro. Pavia. 1993.*
10. TONDELLI R, ATTADEMO G, MARRANCHELLA A, CORTESE C, MAGAROTTO G, GUIDI M.

Valutazione dell'efficienza di due diversi sistemi di decontaminazione dei lavoratori addetti alle scoibentazioni di materiali contenenti amianto. Atti 13° Congresso AIDII. Quaderni di Medicina del Lavoro e Medicina Riabilitativa. Fondazione Clinica del Lavoro. Pavia 1994.

11. TONDELLI R, DELFINO A, PIRA E, PIOLATTO G, BOTTA G, IACHETTA R. Possibilità e limiti di utilizzo di algoritmi per la valutazione dell'inquinamento da fibre d'amianto in ambienti industriali. Atti 13° Congresso AIDII. Quaderni di Medicina del Riabilitativa. Fondazione Clinica del Lavoro. Pavia. 1994.
12. CAIOLO M. Natura e utilizzazione dell'amianto
13. SELA D. Atti del convegno AssoAmianto Consorzio Comense Inerti S.p.A.
14. ZONZA R. Inertizzazione dell'amianto: descrizione di un impianto al plasma
15. ASPIRECO. Processo di inertizzazione dell'amianto Crisotilo
16. SANTAMARIA M. La rimozione dell'amianto in matrice friabile
17. AMOS Realizzazione di una mappa del rischio amianto mediante dati storici e monitoraggio di siti estrattivi ed industriali interessati - PROGETTO LIFE 99 - ENV/IT/000153
18. CLARELLI S. La protezione delle vie respiratorie nei lavori di bonifica da amianto
19. CLARELLI S. La bonifica delle coperture in cemento amianto. Il Sole24ore –Ambiente&sicurezza N.20 del 13/11/2001
20. CLARELLI S. Il problema amianto: istruzioni per la bonifica. Ambiente&sicurezza Il Sole24ore – Consulente immobiliare N.672 del 15/03/2002
21. CLARELLI S. Trasporto e smaltimento dei rifiuti d'amianto. Ambiente&sicurezza Il Sole24ore – Consulente immobiliare N.678 del 15/06/2002
22. DAMIANO R. Pavimenti in linoleum con amianto: istruzioni per la bonifica. Il sole 24 Ore Ambiente&sicurezza.N. 20 del 13/11/2001