

<b>OGGETTO</b>	<b>IMPIANTO SPERIMENTALE DI TRASFORMAZIONE MANUFATTI IN CEMENTO AMIANTO</b>
<b>COMUNE PROVINCIA REGIONE</b>	<b>COMUNE DI CAVALLINO PROVINCIA DI LECCE REGIONE PUGLIA</b>
<b>LOCALITÀ</b>	<b>ZONA P.I.P. - Via B. A. D'Aragona n.5</b>

	<b>ELABORATO:</b>	<b>Rel.01 rev.2</b>
	<b>TITOLO:</b>	<b>Relazione tecnico-illustrativa</b>
	<b>SCALA:</b>	

**PROGETTAZIONE:**

**GEOAMBIENTE** SRL  
Via Beatrice Acquaviva D'Aragona n.5  
73020 - Cavallino (LE)  
**Ing. Daniele Calò**  
Ordine degli Ingegneri di Lecce n.3246

**ARKE'**  
INGEGNERIA s.r.l.  
Via Imperatore Traiano n.4 - 70126 Bari

**Prof. Ing. Alberto Ferruccio Piccini**  
Ordine degli Ingegneri di Bari n.7288

**Dott. Ing. Gioacchino Angarano**  
Ordine degli Ingegneri di Bari n.5970

**CONSULENZA:**

**Prof. Norberto Roveri**  
norberto.roveri@unibo.it

**Ing. Alfredo Lucio Cappello**  
alfredo.cappello@outlook.it

**Prof. Geol. Giuseppe Cesario Calò**  
Ordine dei Geologi di Puglia n.148



*Handwritten signature of Daniele Calò*

<b>DATA</b>	<b>REV</b>	<b>ELABORATO DA</b>	<b>APPROVATO DA</b>
Marzo 2017	02	GEOAMBIENTE S.r.l.	Dott. G. Calò

**Elaborato:**

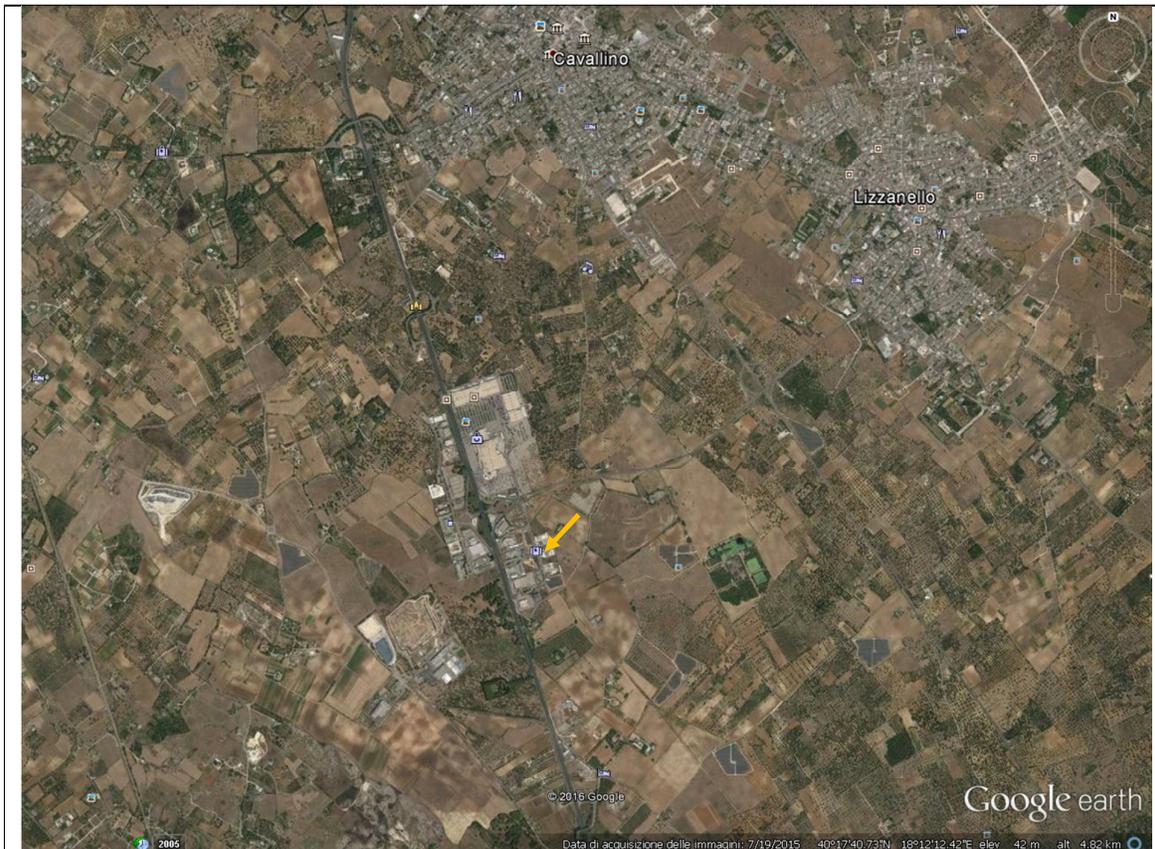
**Relazione\_01\_rev2**

# **PROTOTIPO SPERIMENTALE DIMOSTRATIVO DI UN IMPIANTO DI TRATTAMENTO PER MANUFATTI IN CEMENTO-AMIANTO**

## **RELAZIONE TECNICO-ILLUSTRATIVA**

## PREMESSA

La società Project Resource Asbestos s.r.l. intende realizzare un impianto destinato alla trasformazione dei manufatti in cemento amianto mediante applicazione di un metodo di trattamento ideato e messo a punto dal LEBSC (Laboratorio di Strutturistica Chimica Ambientale e Biologica) operante presso il Dipartimento di Chimica "G. Ciamician" dell'Università di Bologna e diretto dal Prof. Norberto Roveri. Il processo per decomporre le fibre di amianto (principalmente crisotilo), contenute all'interno dei manufatti in cemento-amianto, è stato brevettato da Chemical Center S.r.l. (Numero domanda: MI2010A001443) e prevede di utilizzare consistenti quantità di siero di latte esausto, avente un pH acido (fino a 3 se esposto a temperature superiori 25°C), necessario per decomporre a temperatura ambiente la matrice cementizia, costituente circa l'85% in peso e liberare le fibre di amianto (circa 15%) in essa inglobate. Le fibre vengono poi decomposte in ioni Magnesio, Calcio, Manganese, Nichel, Ferro, silicati e fosfati, utilizzando altre quantità di siero di latte esausto in un processo idrotermale chiuso a 150-180 °C e 6-10 atm di pressione. Il processo non comporta dispersione di fibre di amianto in aria, poiché le due fasi del processo avvengono sempre in reattori ermetici inseriti in una area protetta chiusa sotto depressione. Il presente progetto riguarda la realizzazione di un prototipo sperimentale di piccole dimensioni e di potenzialità limitata destinato all'esecuzione pratica del metodo al fine di verificare l'applicabilità e la coordinazione del progetto dell'impianto che dovrà sviluppare l'applicazione di questo sistema su scala industriale. L'impianto sperimentale descritto nella presente relazione sarà allestito ed ospitato presso la sede della Project Resource Asbestos S.r.l. (v. Fig. 1), all'interno di un capannone attrezzato ubicato nella zona industriale di Cavallino (LE).



**Fig. 1 - Ubicazione del sito di installazione del prototipo sperimentale**

## GENERALITÀ SULL'AMIANTO

Con il termine “amianto” si indica un vasto gruppo di minerali a struttura fibrosa appartenenti alla classe dei silicati e classificabili nelle serie mineralogiche dei “serpentinici” e degli “anfibioli”. Tra le fasi mineralogiche più diffuse, ricadenti nella definizione di “amianto”, si possono citare:

- Crisotilo  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$
- Amosite  $(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$
- Crocidolite  $Na_2(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH,F)_2$
- Tremolite  $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$
- Actinolite  $Ca_2(Mg_{4.5-2.5}Fe^{2+}_{0.5-2.5})Si_8O_{22}(OH)_2$
- Antofillite  $Mg_2Fe_5Si_8O_{22}(OH)_2$

I silicati sopra citati presentano un elevato potenziale cancerogeno, poiché, se respirati e inalati, a causa delle micrometriche dimensioni delle fibre, possono penetrare profondamente nell'apparato respiratorio, fino all'interno degli alveoli polmonari, danneggiando i tessuti fino al punto da provocare l'insorgenza di gravi patologie quali l'asbestosi, i carcinomi polmonari e il mesotelioma pleurico.

Tuttavia, prima che l'Organizzazione Mondiale della Sanità ratificasse l'esito delle ricerche epidemiologiche che dimostravano la pericolosità ed il potenziale cancerogeno dell'amianto e che lo stesso venisse conseguentemente messo al bando, questo materiale era ormai stato oggetto di un elevato e diffuso impiego industriale per le sue peculiari caratteristiche tecniche di resistenza termica, potere isolante e inerzia chimica.

Una grande varietà e quantità di manufatti in cemento-amianto era stata quindi prodotta, commercializzata ed utilizzata per la realizzazione di coperture, serbatoi, tubazioni e altri manufatti, tuttora abbondantemente presenti e diffusi in tutto il territorio nazionale italiano.

Allo stato attuale, per la messa in sicurezza dei manufatti in cemento-amianto si utilizzano le tecniche di “incapsulamento” che impediscono la aerodispersione di fibre nell'ambiente circostante oppure la “rimozione” totale con smaltimento dei manufatti in discarica di rifiuti speciali non pericolosi e/o pericolosi.

In alternativa allo smaltimento in discarica, si può optare per trattamenti chimico-fisici

che prevedono inertizzazione chimica, inertizzazione fisica, ceramificazione o vetrificazione. Tuttavia, in Italia il conferimento in discarica è attualmente il metodo di smaltimento più economico e di gran lunga più utilizzato, in quanto gli impianti di trattamento chimico-fisico in esercizio sono pochissimi e risultano localizzati prevalentemente all'estero.

Il presente progetto illustra un metodo di trattamento innovativo che produce la completa trasformazione chimica, morfologica e strutturale dell'amianto, il quale viene decomposto a livello molecolare in composti inorganici inerti e privi di tossicità. Il metodo di trattamento di seguito descritto si pone in alternativa ai sistemi di smaltimento tradizionali dell'amianto (discarica) e pone le basi per un approccio innovativo nei confronti della gestione e del possibile riutilizzo di questo tipo di materiali.

## **IL SIERO DI LATTE ESAUSTO E LE SUE PROBLEMATICHE**

Il processo di trattamento messo a punto dal LEBSC dell'Università di Bologna presenta delle potenzialità applicative di rilevante importanza, in quanto affronta e risolve ben due diverse e distinte problematiche, ovvero quella dello smaltimento in sicurezza dei RCA e quella del riutilizzo del siero di latte esausto.

Il siero di latte esausto è un refluo generato dai processi industriali di tipo caseario, che ne producono notevoli quantità, pari a circa l'80% dei quantitativi di latte sottoposti a lavorazione.

Il siero è sostanzialmente privo di agenti tossici, ma a causa del suo elevato contenuto organico non può essere scaricato direttamente nei corpi idrici e non risulta semplice da trattare negli impianti di depurazione comunali o consortili per via delle sostanze poco degradabili in esso contenute. Infatti, il siero è un liquido giallo-verdastro torbido che contiene tutti gli elementi solubili del latte quali il lattosio, le sieroproteine e i sali solubili (fosforo, sodio, calcio, potassio, ecc..). A seconda della tecnologia adottata per la produzione del formaggio può avere un'acidità variabile da pH 5,6 a pH 5,1. Tuttavia, a causa dell'azione dei batteri lattici, esso subisce una rapida acidificazione che porta il pH a valori inferiori a 4.

Un frequente e poco costoso utilizzo del siero è quello di ingrediente per la preparazione di mangimi per animali da allevamento, soprattutto suini. Infatti, in passato il siero veniva smaltito semplicemente conferendolo ad allevamenti suinicoli. Tuttavia, la contrazione del settore zootecnico ed il contestuale sviluppo dell'industria casearia, hanno creato nel tempo un notevole squilibrio del rapporto tra domanda e offerta. Inoltre, nel meridione d'Italia, ove la presenza e la dimensione del settore zootecnico è inferiore rispetto alla media nazionale, il siero non trova un grande impiego zootecnico e pertanto il suo smaltimento deve essere effettuato secondo quanto previsto dalle normative ambientali. Con questo processo si riesce ad integrare risorsa idrica altrimenti inutilizzabile.

Quando non è recuperabile, il siero è considerato dalla normativa vigente come un rifiuto speciale non pericoloso e in tal caso le aziende produttrici sono obbligate a gestirlo in conformità alle disposizioni legislative che regolamentano le attività di smaltimento dei rifiuti. Conseguentemente, in qualità di refluo, il siero deve essere

sottoposto, prima di essere smaltito nell'ambiente, a processi depurativi che consentano di farlo rientrare nei limiti previsti dal D.L. n. 152/06. Tuttavia, nella situazione attuale, le strutture depurative dedicate al trattamento del siero di latte scarseggiano o non funzionano secondo le aspettative, per cui lo smaltimento di questo sottoprodotto sta cominciando a diventare un serio problema per l'industria casearia. In assenza di impianti ricettori, il siero è stato occasionalmente disperso nell'ambiente, determinando situazioni di grave inquinamento o addirittura immesso nelle reti fognarie, creando seri problemi all'attività di funzionamento degli impianti di depurazione dei reflui urbani.

Si comprende quindi come la possibilità di un suo riutilizzo nell'ambito di processi industriali finalizzati all'inertizzazione dei RCA possa costituire un'importante valvola di sfogo in grado di fornire un aiuto concreto e significativo al settore caseario.

## GENERALITÀ SUL PROCESSO DI TRATTAMENTO

Tra i vari processi di trattamento che producono la trasformazione molecolare dell'amianto, rientra anche un metodo che è stato messo a punto e brevettato dai ricercatori del Dipartimento di Chimica dell'Università di Bologna<sup>1</sup>. Lo schema di processo e le sue possibili applicazioni su scala industriale sono stati recentemente presentati ed illustrati all'edizione della Fiera del Levante del 2015, al Convegno dell'ONA dal titolo "La bonifica amianto: un'economia che nasce un territorio che risorge", tenutosi a Bari l'11 luglio 2015 ed a Roma presso la Camera dei Deputati, il 17 ottobre 2016. Il progetto di sviluppo industriale di questo sistema di trattamento innovativo, è attualmente oggetto di un procedimento di Valutazione d'Impatto Ambientale avviato presso le competenti sedi ministeriali. Tale progetto prevede la realizzazione di un impianto pilota localizzato nella zona industriale di Andria, finalizzato a sviluppare, testare e calibrare i sistemi impiantistici necessari ad applicare su scala industriale questo processo di trasformazione dell'amianto.

In questo capitolo si fornisce una breve descrizione di quella che sarà l'articolazione del processo di trattamento previsto per l'impianto a scala industriale. Nel capitolo successivo, saranno invece illustrate le caratteristiche tecniche e funzionali del prototipo sperimentale.

### **Struttura e articolazione del processo**

A differenza degli altri processi di destrutturazione molecolare dell'amianto, questa nuova metodologia di processo non si configura come un semplice trattamento termico, in quanto si basa principalmente su processi di natura chimica che avvengono in reattori ermetici e senza alcun rilascio di emissioni in atmosfera.

Il processo sfrutta, nella sua fase iniziale, le proprietà acide del siero di latte esausto e la sua capacità di aggredire e decomporre a temperatura ambiente la matrice cementizia dell'eternit. Le fibre di amianto liberate dalla matrice cementizia vengono quindi fatte reagire a temperature moderatamente alte (circa 150 °C) con altro siero

---

<sup>1</sup> ROVERI N., LESCI I.G., PETRAROIA S. (2014) - Processo di trasformazione di manufatti in cemento-amianto utilizzando siero di latte esausto e/o scarti acidi provenienti da lavorazione del settore agroalimentare. Atti del Convegno "S.O.S. Amianto", Asti, 21/05/2014.

di latte in reattore chiuso a pressione compresa tra 6-10 bar, che completano il processo di trasformazione molecolare dell'amianto.

Nell'impianto a scala industriale, il processo si articola nelle seguenti fasi:

1. triturazione fine (0,5 - 1 mm) dei rifiuti contenenti amianto (nel seguito indicati con la sigla RCA) in ambiente rigorosamente confinato;
2. trasferimento dei RCA triturati in reattori ermetici in cui viene immesso del siero di latte esausto in proporzioni pari complessivamente a circa 7 litri di siero per kg di RCA (con proporzione di , 3,5:1,nella fase di decarbonatazione e di 3,5:1 nella fase idrotermale);
3. fase di decomposizione in siero di latte della matrice cementizia dei RCA ("decarbonatazione") della durata di circa 30-60 minuti a temperatura ambiente con produzione di CO<sub>2</sub> (che viene estratta, immagazzinata e compressa in gazometri);
4. introduzione nel reattore di alluminio e acido fosforico, con aumento di temperatura fino a valori di circa 150 °C alla pressione di 6-10 atm e conseguente avvio della "fase idrotermica" (della durata di circa 6 ore) in cui avviene la decomposizione dell'amianto in ioni metallici e silicato;
5. fase di raffreddamento e successivo trasferimento in serbatoi di decantazione;
6. separazione del surnatante destinato ad impianto di depurazione e del fango utilizzabile in processi di produzione di fertilizzanti.

Tutti i processi si svolgono in ambiente confinato, ovvero all'interno di reattori ermetici comandati e monitorati in continuo per mezzo di un sistemi di controllo computerizzato. Inoltre, il processo è integralmente robotizzato e non prevede alcun operatore umano a contatto con l'amianto o con le altre componenti di processo.

La fase più critica, ovvero quella di pretriturazione dell'eternit, viene condotta in ambienti sigillati e costantemente sottoposti a depressione nonchè filtrazione dell'aria con filtri HEPA a massima protezione. Infatti le polveri prodotte dalla fase di triturazione sono aspirate in continuo da un sistema depressurizzato con filtri a maniche.

### **La fase di decarbonatazione**

Come detto in precedenza, il protocollo di trattamento prevede una prima fase durante la quale i manufatti in cemento-amianto, preventivamente macinati, sono sottoposti a un processo di decarbonatazione che si svolge, a temperatura ambiente e pressione atmosferica, all'interno di un reattore di seguito denominato "reattore freddo".

Il materiale polverizzato viene introdotto in un miscelatore nel quale viene riversato del siero di latte preventivamente fermentato, in rapporto 1 a 3,5 in peso. Il siero miscelato al cemento-amianto viene quindi inviato al reattore freddo, nel quale avviene la reazione di decarbonatazione, durante la quale i granuli di cemento si disgregano a causa dell'attacco acido da parte del siero di latte, generando anidride carbonica e liberando le fibre di amianto dalla matrice cementizia.

Il siero di latte viene preventivamente parzialmente sgrassato perché le sostanze grasse in esso contenute rallenterebbero il processo di decarbonatazione ostacolando l'uscita superficiale dell'anidride carbonica. Il recupero completo dei grassi potrà essere completato a fine processo di decarbonatazione

L'opportunità di far fermentare il siero di latte a temperature superiori a 25 °C prima di inviarlo al reattore freddo è invece legata al fatto che, in tal modo, aumenta la produzione di metaboliti acidi e di conseguenza anche l'acidità raggiunge valori del pH pari o inferiori a 3 e ciò migliora l'aggressività del liquido nei confronti del cemento, riducendo così la durata della fase di decarbonatazione.

L'anidride carbonica che si produce nel processo di decarbonatazione viene dapprima filtrata mediante un filtro assoluto (così da renderla totalmente priva di fibre di amianto), poi liquefatta ed imbottigliata in bombole di acciaio ed infine ceduta ai potenziali utilizzatori.

Quando la reazione di decarbonatazione viene completata, all'interno del reattore freddo vi è una melma costituita da una frazione liquida a pH pressoché neutro ed una parte fangosa contenente fibre di amianto, lattati di calcio ed altri lattati provenienti dalla reazione tra l'acido lattico contenuto nel siero di latte ed i metalli alcalini contenuti nel cemento e composti organici di varia natura contenuti originariamente nel siero di latte.

La cessata produzione di anidride carbonica è indice che la reazione di

decarbonatazione si è completata e la frazione cementizia (85%) si è disgregata in soluzione facendo precipitare varie fasi minerali (silice, alluminio silicati).

### **La fase idrotermica**

Ultimata la fase di decarbonatazione, la melma presente nel reattore freddo viene inviata in un decantatore nel quale la fase liquida e quella solida si separano per gravità.

La parte liquida viene allontanata dal processo, mentre i fanghi restanti vengono inviati al reattore caldo, dove vengono additivati ancora con siero di latte preriscaldato in rapporto 1 a 3,5 aggiungendo piccole quantità di acido fosforico, alluminio e ferro, necessari per evitare fenomeni di ricristallizzazione di fibre asbesto similari durante il processo.

Nel reattore caldo i fanghi, additivati con i reagenti partecipano a delle reazioni chimiche a caldo a temperature comprese tra i 150 e i 180 °C, in un intervallo di pressione compreso tra i 6 e 10 bar, laddove, ovviamente, ai valori più alti di pressione e temperatura corrispondono tempi di reazione più brevi e viceversa.

In tali reazioni le fibre di amianto si denaturano trasformandosi in fosfati, silicati e ossalati, previa eventuale aggiunta di acido ossalico.

Completata questa seconda fase di trattamento, la melma presente all'interno del reattore caldo viene pompata attraverso uno scambiatore di calore che avrà lo scopo di recuperare parte dell'energia termica di processo (processo esotermico) per preriscaldare il siero di latte in ingresso al reattore caldo. A valle dello scambiatore, la melma viene inviata ad un secondo decantatore per separare la fase liquida da quella solida.

### **Prodotti finali e loro destinazione**

Dopo la decantazione, la fase liquida presenta pH neutro e assenza di torbidità e di emissione di gas. La fase solida, ricca di sostanze organiche contenute nel siero di latte, azotati, fosfati e di metalli alcalini come potassio, può essere destinata alla produzione di fertilizzanti (P, K, N). Ovviamente, ogni lotto deve essere preventivamente sottoposto ad analisi al microscopio elettronico a scansione finalizzate a verificare la completa assenza di fibre di amianto.

In caso di eventuale riscontro di fibre di amianto, si deve prolungare il trattamento idrotermale nel reattore caldo fino a completa eliminazione di tutte le fibre residue.

Per quanto riguarda le fasi liquide, esse vengono recuperate dopo essere passate attraverso filtri assoluti che assicurano la completa rimozione di eventuali fibre rimaste in sospensione. A valle della filtrazione, la fase liquida, altamente ricca in ioni metallici (soprattutto  $Mg^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  e  $Mn^{2+}$ ), può essere destinata ad impianti di estrazione dei metalli per via elettrochimica.

## DESCRIZIONE DEL PROTOTIPO SPERIMENTALE

### **Finalità e obiettivi**

Il prototipo sperimentale di progetto, per le sue finalità puramente dimostrative, avrà una potenzialità di trattamento molto limitata, dell'ordine di circa 20 kg/ciclo.

L'attività sperimentale e dimostrativa, che sarà preventivamente concordata con le Autorità competenti, si articolerà su vari cicli di trattamento, finalizzati al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

1. illustrare dal punto di vista pratico ed operativo le fasi in cui si articola il metodo di trattamento delle matrici cementizie contenenti amianto;
2. verificare in contraddittorio con le Autorità competenti i risultati del processo di trasformazione dell'amianto;
3. definire con maggior dettaglio la durata ottimale delle due fasi principali del processo (decarbonatazione e fase idrotermica).

### **Differenze tra prototipo sperimentale ed impianto a scala industriale**

L'impianto necessario a replicare su piccola scala il processo di trattamento precedentemente descritto si compone di diversi macchinari ed apparecchiature, alcune delle quali demandate ad effettuare un pretrattamento dei reagenti ed altre destinate ad espletare le reazioni chimiche necessarie per ottenere la trasformazione molecolare dell'amianto.

Ovviamente, per semplificare l'allestimento e la gestione operativa del prototipo sperimentale, in quest'ultimo alcune fasi saranno bypassate.

Ad esempio, la frantumazione dei manufatti in eternit non verrà eseguita in situ. Nel caso specifico, il cemento-amianto da trattare giungerà già in frammenti di pezzatura centimetrica all'interno di idonei contenitori a tenuta ermetica ("big-bags"). I frammenti di eternit da utilizzare per le prove verranno forniti da ditte autorizzate all'esecuzione degli interventi di bonifica dell'amianto, durante i quali vengono sempre raccolti frammenti di piccole dimensioni, che vengono collocati all'interno di big-bags per essere successivamente inviati in discarica.

A tal fine, verranno stipulate delle convenzioni con le summenzionate ditte, che si impegneranno a conferire piccole quantità di eternit in frammenti di piccole

dimensioni, selezionati e contenuti in appositi big-bags.

Nell'impianto di progetto verrà installato un container in cui saranno stoccati temporaneamente i big-bags contenenti l'eternit da sottoporre a trattamento. Sia i conferimenti che lo stoccaggio temporaneo saranno di un ordine di grandezza di circa 100-150 kg/settimana.

Potendo ricevere eternit in frammenti di piccola pezzatura, l'impianto sperimentale sarà dotato esclusivamente di un macchinario per la polverizzazione in condizioni di sicurezza delle piccole quantità di materiale necessarie, di volta in volta, ad alimentare i singoli cicli di trattamento.

Allo stesso modo, poiché l'obiettivo principale è quello di verificare l'efficacia del processo di trasformazione molecolare dell'amianto, non si procederà all'allestimento di sistemi di recupero o trattamento spinto delle fasi liquide e solide in uscita. Pertanto, sia i fanghi che le fasi liquide di risulta verranno temporaneamente accumulati in appositi serbatoi e, dopo aver espletato analisi di controllo funzionali a verificare l'assenza di fibre di amianto, essi saranno conferiti ad impianti di trattamento autorizzati.

### **Descrizione dei locali da adibire all'attività di sperimentazione**

Il prototipo sperimentale sarà ospitato all'interno di un capannone industriale esistente, ubicato nella zona P.I.P. del Comune di Cavallino.

All'interno del suddetto capannone verrà delimitata un'area, dell'estensione di circa 40 mq, in cui si provvederà a realizzare il locale che conterrà tutte le attrezzature necessarie allo svolgimento dell'attività sperimentale.

Il locale in questione sarà realizzato con pannelli sandwich ed avrà un'altezza di circa 3,5 metri. Per garantire la tenuta dell'ambiente, che dovrà essere mantenuto costantemente in depressione, tutte le giunzioni dei pannelli saranno sigillate con poliuretano espanso a presa rapida.

Il pavimento del locale sarà realizzato al di sopra della pavimentazione industriale esistente all'interno del capannone, dalla quale sarà isolata mediante l'interposizione di una geomembrana in HDPE da 2 mm, che sarà risvoltata lungo tutti i bordi esterni del locale fino ad un'altezza di 50 cm.

La pavimentazione, in calcestruzzo, sarà perfettamente spianata, modellata a

pendenza e trattata successivamente con resina epossidica al fine di evitare possibili zone di deposito concentrato di polveri. Tale soluzione permetterà di pulire il locale e di regimentare le acque utilizzate tramite griglia e canalina di raccolta.

Infatti, la pavimentazione conterrà un'intercapedine funzionale a raccogliere eventuali sversamenti di sostanze liquide che dovessero verificarsi all'interno del locale di sperimentazione, ivi comprese le acque di lavaggio e pulizia del locale. I liquidi verranno drenati da apposite griglie metalliche installate a pavimento, le quali consentiranno di far defluire gli stessi nell'intercapedine del pavimento. L'intercapedine avrà pendenza impostata in direzione di un pozzetto che consentirà il prelievo dei liquidi e il suo conferimento ad impianti di trattamento autorizzati.

L'ingresso al locale avverrà dall'esterno, attraverso una porta laterale del capannone già esistente. Mediante la porta si accederà all'interno di un'unità di decontaminazione standard a quattro stadi, del tipo di quelle utilizzate sui cantieri degli interventi di bonifica dell'amianto.

Come si può osservare nel layout di progetto, il locale sarà compartimentato e suddiviso in varie zone. In particolare, lungo il lato che si addossa alla parete del capannone esistente saranno ospitati tre piccoli comparti:

1. l'unità di decontaminazione a 4 stadi, posizionata in corrispondenza della porta di ingresso;
2. il vano tecnico per l'alloggiamento del gruppo di aspirazione e del sistema di filtrazione dell'aria con filtri assoluti;
3. un piccolo vano di servizio in cui verranno stoccati i reagenti e che sarà dotato anch'esso di porta d'ingresso (esistente).

Il vano che ospiterà le apparecchiature e i macchinari necessari per il trattamento dell'amianto sarà quello più esteso ed occuperà una superficie di circa 20 mq. Accanto ad esso sarà posizionato un vano più piccolo in cui verranno effettuate le operazioni di polverizzazione del materiale da trattare. Quest'ultimo locale conterrà anche una pass-box per l'introduzione in sicurezza dei big-bag contenenti l'eternit in frammenti e un piccolo container per lo stoccaggio temporaneo dei MCA da trattare.

### **Fasi di pretrattamento**

Una fase di pretrattamento riguarderà i materiali in cemento-amianto, i quali, prima di

reagire con il siero di latte, dovranno essere ridotti in polvere della granulometria di circa 0,3 – 0,5 millimetri, così da velocizzare la fase di decarbonatazione.

La polverizzazione del materiale verrà invece effettuata con un macchinario a perfetta tenuta prodotto dalla ditta C.I.M.M.A. dell'ing. Luigi MORANDOTTI, che vanta un'esperienza ultra-cinquantennale nel settore. Detto macchinario, raffigurato in fig. 2 e fig. 3, è costituito da un piccolo mulino in cui il materiale può fluire dallo sminuzzatore al macinatore in condizioni di confinamento ermetico, senza possibilità di diffondere polveri nell'ambiente circostante.



Il mulino preposto alla macinazione fine dei manufatti in cemento-amianto (v. particolare in fig. 3) è costituito da una carcassa cilindrica contenente al suo interno un rotore dotato di martelli. Nella sua parte superiore la carcassa è dotata di due ganasce in ghisa dura, recanti una dentellatura che trattiene il materiale da macinare,

che viene così colpito dai martelli del rotore sino alla completa polverizzazione. Nella parte inferiore della carcassa è situata una griglia, costituita da una lamiera a fori calibrati, che consente la fuoriuscita del macinato quando questo ha raggiunto la granulometria voluta. La peculiarità di questo tipo di mulino è la completa assenza di diffusione di polveri durante il suo funzionamento; infatti, come si può osservare in fig. 3, il portellone di ispezione chiude la carcassa con una tenuta garantita da una guarnizione serrata da sei bulloni.



I quattro bracci del rotore, che sostengono i martelli, costituiscono, inoltre, una sorta di girante simile a quella dei ventilatori centrifughi e, poiché la bocca di carico è posta in posizione pressoché centrale, durante il funzionamento detto mulino genera un flusso d'aria entrante dalla bocca di carico ed uscente dalla griglia di uscita. Detto flusso d'aria è stimato attorno ai 1.000 m<sup>3</sup> per tonnellata di macinato ed è tale da garantire che dalla bocca di carico non vi sia la benché minima fuoriuscita di polveri che possano diffondersi nell'ambiente. Il macinato che fuoriesce dalla parte bassa della macchina viene convogliato al

processo, mentre l'aria di ventilazione, che contiene una certa quantità di polveri, attraverserà dapprima un separatore a ciclone, per subire una prima e grossolana depolverazione, successivamente sarà inviata ad un sistema di abbattimento ad umido per la sua completa decontaminazione prima di essere immessa nell'ambiente.

Un'altra fase di pretrattamento che sarà svolta in situ riguarderà invece il siero di latte, il quale, come detto in precedenza, ha lo scopo di generare un attacco acido in grado di disgregare il cemento e di liberare le fibre di amianto. Per svolgere questo ruolo in maniera ottimale, il siero sarà sottoposto a sgrassamento mediante un processo di flottazione. In particolare il siero viene introdotto in una camera di compressione costituita da un serbatoio in acciaio inossidabile nel quale occuperà poco più della metà del volume interno. Il livello del liquido in detto serbatoio sarà controllato da un livello stato elettronico con sonde ad immersione che azionerà le valvole di ricircolo e di alimentazione.

Nella parte superiore di detta camera di compressione vi sarà aria tenuta alla pressione di 5-6 bar da un compressore dotato di apposito pressostato. Una pompa di spinta aspirerà il siero dal basso del serbatoio e lo spingerà attraverso degli ugelli nebulizzatori posti nella parte alta della camera di compressione. In questo modo il siero terrà in soluzione una grande quantità di aria, così che una volta estratto dalla camera di compressione ed inviato al flottatore, tornando alla pressione atmosferica, diverrà sovra-saturo di aria e liberare delle microbolle, che, salendo lentamente in superficie, trascineranno meccanicamente in alto le particelle di grasso contenute nel siero, che, quindi, si separeranno da esso. La camera di compressione, essendo un serbatoio in pressione, sarà dotato di manometro, valvola di sovra-pressione e tutto quant'altro prescrive la vigente normativa in materia, così da essere conforme alle prescrizioni tecniche di settore.

Una volta sgrassato, il siero verrà lasciato fermentare il tempo necessario perché esso inacidisca sino a raggiungere valori di pH attorno a 3, in modo da renderlo più aggressivo nei confronti dei carbonati contenuti nel cemento. Il siero degrassa grazie alla fermentazione dei batteri. A causa della metabolizzazione degli acidi grassi il siero acidifica.

Il cemento-amianto polverizzato dovrà essere miscelato alla giusta quantità di siero

di latte per poi essere introdotto nel reattore freddo.

Poiché nella miscelazione con il siero di latte la polvere di cemento-amianto tende ad agglomerarsi formando dei grumi, tale miscelazione avverrà all'interno di un apposito miscelatore nel quale la polvere di cemento-amianto verrà aggiunta poco per volta ad una quantità di siero già presente e tenuto in rapido movimento circolare, così da impedire la formazione dei grumi. Detto miscelatore sarà in vetroresina di forma circolare con un fondo conico molto pronunciato. Un'apposita pompa volumetrica ad ingranaggi preleverà il siero dal fondo del miscelatore e lo ricircolerà alla sommità dello stesso, iniettandolo in direzione tangenziale, così da generare un moto rotazionale di tutta la massa liquida presente all'interno.

### **Fase di decarbonatazione in reattore freddo**

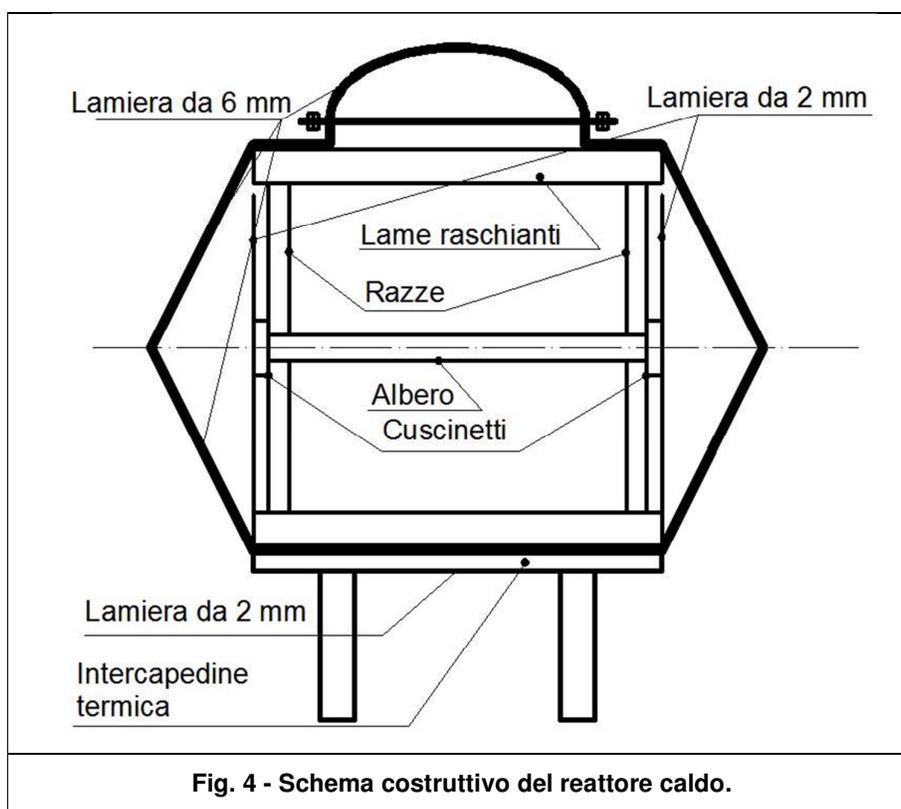
Una volta preparata la miscela, scambiando la posizione di alcune valvole, la predetta pompa trasferirà la stessa dal miscelatore al reattore freddo e successivamente la ricircolerà all'interno di questo, così da mantenerla in costante movimento. Il reattore freddo sarà anche dotato di un mescolatore che manterrà in ulteriore movimento tutta la massa dei reagenti, ciò allo scopo di favorire il contatto tra la polvere di cemento-amianto e le particelle di siero di latte onde accelerare la reazione di decarbonatazione.

Il tutto avverrà alla pressione atmosferica, in quanto sul reattore freddo sarà predisposta una tubazione di raccolta dell'anidride carbonica che si genera dalla reazione di decarbonatazione del cemento. Detta tubazione sarà dotata di un filtro assoluto avente la funzione di trattenere ogni minima particella di amianto che dovesse eventualmente essere trascinata dal flusso gassoso. Un manometro differenziale che misura la differenza di pressione tra monte e valle del filtro assoluto darà indicazioni sul flusso di CO<sub>2</sub> e quindi sull'evoluzione del processo di decarbonatazione (un barometro misura la pressione di uscita dal gas) se non si osserva più un differenziale pressorio all'uscita del reattore dopo il tempo cinetico di reazione di decarbossilazione, è segno che non vi è flusso di gas e che, quindi, la reazione di decarbonatazione è ultimata.

### **Fase idrotermica in reattore caldo**

Terminata la prima fase di trattamento, agendo opportunamente su delle valvole, si pomperà tutto l'insieme dei reagiti in un decantatore ad elevato sviluppo verticale e con fondo conico molto accentuato, che separerà la fase liquida dai fanghi contenenti amianto. Una volta avvenuta la decantazione, i fanghi verranno dapprima pompate attraverso uno scambiatore di calore, dove saranno preriscaldati, per poi essere introdotti nel reattore caldo, dove saranno additivati con altro siero di latte, acido fosforico, alluminio e ferro. La fase liquida, previa filtrazione, invece, sarà inviata allo stoccaggio dei liquidi esausti dei quali si tratterà in seguito.

Il reattore caldo sarà realizzato in lamiera di acciaio inossidabile AISI 304 negli spessori e dimensioni indicati in fig. 4.



Ovviamente, dovendo operare a temperature comprese tra i 150 ed i 180°C con conseguenti pressioni comprese tra 6 ed 8 bar, il reattore caldo sarà dotato di tutte le dotazioni di sicurezza previste dalla vigente normativa che riguarda la costruzione e

l'esercizio dei contenitori in pressione. Come si può osservare in fig. 4, l'interno del reattore è dotato di un sistema di lame raschianti sostenute da delle razze ruotanti attorno ad un albero ed aventi la funzione di rimestare tutta la massa fluida allo scopo di accelerare la reazione chimica. Qui avverrà la reazione di scambio ionico tra i sali di magnesio contenuti nelle fibre di amianto ed il fosfato di alluminio ottenuto dalla reazione dell'acido fosforico con l'alluminio, mentre i sali di ferro che si formeranno avranno la funzione di impedire che la predetta reazione di scambio ionico avvenga al contrario durante il raffreddamento dei reagenti.

Le temperature necessarie allo svolgimento delle predette reazioni chimiche saranno ottenute mediante il riscaldamento del reattore che avverrà con la circolazione di olio diatermico proveniente da un generatore di calore e che attraverserà l'intercapedine posta esternamente al reattore.

Il generatore di calore ad olio diatermico, simile a quello raffigurato in fig. 5, sarà della ditta LPV Caldaie di Parma, che opera nel settore con un'esperienza ventennale e che fornisce detti macchinari in versione "PACKAGE", ovvero preassemblata, quindi già dotati di tutti i dispositivi di controllo, comando, regolazione, protezione e sicurezza necessari al buon funzionamento di tutto l'apparato.

Una volta avvenuta la reazione di scambio ionico, tutta la massa fluida sarà estratta dal reattore caldo e inviata ad uno scambiatore di calore che recupererà parte dell'energia termica da utilizzare per preriscaldare la nuova carica che dovrà essere trattata nel reattore caldo.

A valle dello scambiatore, la massa fluida verrà inviata ad un decantatore che separerà la fase liquida dai fanghi.

Terminata la decantazione, i fanghi saranno essiccati e sottoposti a controlli analitici mediante Microscopia Elettronica a Scansione, atti a verificare l'assenza di fibre d'amianto (limite <0,1% in peso DM 06/09/94 allegato 1).

Le fasi liquide estratte saranno interamente trattate con un sistema a filtri assoluti così da eliminare ogni minima traccia di fibre di amianto che dovessero essere ancora presenti. Per tale operazione si prevede di utilizzare il dispositivo raffigurato in fig. 6, prodotto della VEDANI s.r.l., ditta specializzata che opera da tempo nel settore ed occupa un'importante posizione di mercato.



**Fig. 5 - Generatore di calore ad olio diatermico.**



**Fig. 6 - Dispositivo di filtrazione per liquidi a filtri assoluti.**

A valle dei controlli analitici funzionali a verificare l'assenza di fibre di amianto, sia i fanghi che le fasi liquide di risulta verranno condotti a smaltimento presso impianti depurativi autorizzati.

Il prototipo verrà allestito all'interno di un'area confinata che sarà ricavata all'interno del capannone esistente. L'ingresso e l'uscita dagli ambienti in cui verranno eseguite le attività di sperimentazione con il prototipo avverrà attraverso una camera di decontaminazione a tre stadi per bonifiche dell'amianto conforme alle specifiche previste dal D.M. 06/09/1994.