



Figura 6 Gestione della polvere di alluminio: (a) sacchi per il trasporto, (b) impianto di aspirazione ed abbattimento delle polveri smaltimento; (c) Inertizzatore; (d) camion per il trasporto finale dei fanghi (cortesia MAR. ECO S.r.l.)

composti derivanti dagli elementi di lega o da contaminanti presenti nel rifiuto. Tali residui possono essere, almeno in parte, recuperati e reinseriti nel ciclo produttivo dell'alluminio, contribuendo a un approccio di economia circolare. L'attivazione controllata della polvere consente inoltre di modulare la cinetica della reazione, rendendo possibile una produzione di idrogeno "on-demand" e potenzialmente utilizzabile in sistemi a celle a combustibile, come alternativa ai processi convenzionali basati sulla trasformazione del metano.

Schiume geopolimeriche composite a base di allumina

Negli anni '70, Joseph Davidovits sviluppò i geopolimeri come alternativa alle matrici tradizionali, con l'obiettivo di ottenere materiali a base inorganica caratterizzati da elevate prestazioni termiche e meccaniche e da processi produttivi a più bassa temperatura rispetto al cemento. La formazione dei geopolimeri avviene mediante attivazione alcalina di precursori alluminosilicatici, con possibilità di modulare la microstruttura e, in particolare, la porosità del materiale. Gli impasti geopolimerici sono generalmente sistemi com-

positi, nei quali cariche e additivi vengono introdotti per migliorare la stabilità dimensionale, controllare la reologia, modulare i tempi di presa e ottimizzare le proprietà meccaniche e termiche. In assenza di tali componenti, il materiale è soggetto a perdita d'acqua per evaporazione durante la fase di consolidamento, con conseguente ritiro volumetrico e formazione di microfessurazioni nella matrice. Per limitare tali effetti, è possibile introdurre cariche minerali, generalmente inerti o debolmente reattive in ambiente alcalino (quali quarzo, sabbia, corindone, mulite o zirconia), purché compatibili con la matrice geopolimerica e stabili alle temperature di esercizio, al fine di evitare l'insorgenza di stress termici. In questo contesto, la polvere di alluminio può essere impiegata come fase funzionale piuttosto che come componente strutturale. In particolare, la sua reattività in ambiente alcalino consente di generare gas (principalmente idrogeno), favorendo la formazione di una struttura porosa controllata. Le micrografie (Figura 8) evidenziano come variazioni nel contenuto di alluminio e nel rapporto con l'acqua influenzino significativamente il numero, la dimensione e la distribu-

zione dei pori. Ne consegue che la polvere di alluminio rappresenta un potenziale agente espandente per la produzione di schiume geopolimeriche, la cui efficacia dipende tuttavia da un attento controllo delle condizioni di processo, al fine di massimizzare i benefici in termini di leggerezza e isolamento senza incorrere nei rischi di sicurezza associati alla reattività del metallo.

Rischi ambientali

La polvere di alluminio metallico può determinare impatti ambientali rilevanti qualora venga dispersa, anche accidentalmente, nell'ambiente. Tali effetti dipendono principalmente dalla granulometria, dalla concentrazione e dallo stato chimico del materiale.

In atmosfera, la dispersione contribuisce all'aumento del particolato sospeso (PM), con conseguente peggioramento della qualità dell'aria e incremento del rischio di incendio o esplosione. Le particelle possono inoltre depositarsi per sedimentazione secca o umida, determinando fenomeni di contaminazione del suolo e delle acque superficiali. Nel suolo, l'alluminio metallico tende a ossidarsi formando specie meno reattive; tutta-