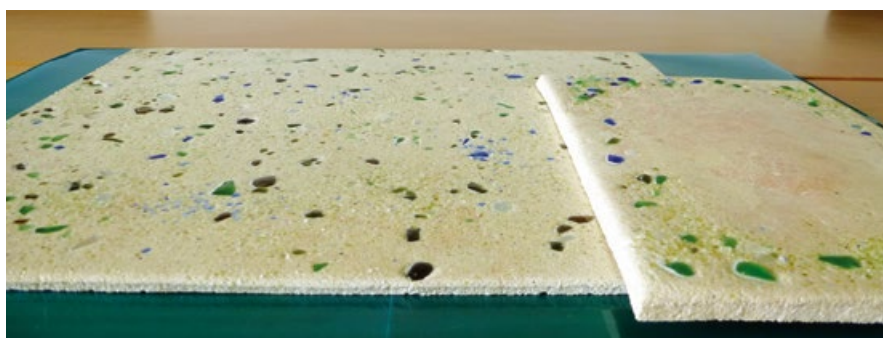


LA VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI INDUSTRIALI INORGANICI

DECLASSARE LA PERICOLOSITÀ DI UN RIFIUTO ATTRAVERSO L'INERTIZZAZIONE PRODUCE RISPARMIO E TRASFORMARLO IN UNA MATERIA PRIMA PROMUOVE GUADAGNO; CIÒ CONSENTE DI TRANSITARE CORRETTAMENTE A UN SISTEMA CHE SI AUTOGENERA, PASSANDO DAL MODELLO DI CRESCITA LINEARE A QUELLO DI CRESCITA CIRCOLARE.

La gestione sostenibile dei rifiuti comporta non solo la prevenzione e la riduzione quantitativa e qualitativa per pericolosità dei rifiuti, ma impone sempre più la sostituzione di quelle che erano le pratiche di mero smaltimento con tecnologie di trattamento di inertizzazione o valorizzazione di materia ed energia. Riuscire a declassare la pericolosità di un rifiuto (producendo risparmio) o, ancor meglio, a trasformarlo in una materia prima a tutti gli effetti (promuovendo guadagno), significa transitare correttamente dal modello di crescita lineare del “prendi, produci, usa e getta” a quello circolare di un sistema che si autogenera, in cui le risorse restano all'interno del sistema economico fino al raggiungimento della fine del ciclo di vita, in modo da poter essere riutilizzate più volte a fini produttivi e creare così nuovo valore.

In merito al recupero di materia, gli stessi indirizzi europei, dal VI Programma d'azione per l'ambiente, propongono il binomio “uso sostenibile di risorse-gestione sostenibile di rifiuti”, basilare in quei paesi, come l'Italia, carenti in materie prime naturali. La gestione sostenibile dei rifiuti, pertanto, va attuata con le migliori tecnologie di trattamento e valorizzazione e nel rispetto della prossimità della produzione degli stessi. In questo modo, si può ottenere un incremento del riciclo tale da attenuare la pressione sulla domanda di materie prime, indurre a riutilizzare materiali di valore che altrimenti finirebbero come rifiuti e ridurre il consumo di energia e di emissioni di gas a effetto serra nei processi di estrazione e di lavorazione. La stessa direttiva quadro 2008/98/CE, recepita in Italia dal Dlgs 205/2010, oltre a riportare specifici criteri e obiettivi, ha dato l'impronta di un nuovo atteggiamento culturale che investe direttamente le competenze e le responsabilità dello stato, degli enti locali, della produzione industriale e dei



1

cittadini, questi ultimi due in veste di principali produttori di rifiuti. È in questo contesto che si colloca il breve excursus che segue, a titolo esemplificativo e non esaustivo, di come la ricerca scientifica applicata alle tecnologie e ai materiali possa contribuire a trovare soluzioni ecologicamente, economicamente e socialmente sostenibili nella gestione dei rifiuti industriali inorganici.

Trattamenti a caldo

Vetrificazione/devetrificazione

La vetrificazione è quel processo basato sul riscaldamento ad alte temperature (1200-1700°C) di materie prime naturali (carbonati, ossidi ecc.) che origina un prodotto fuso che, sottoposto a rapido raffreddamento in aria o acqua, a sua volta dà vita a un vetro. Nell'ambito della gestione dei rifiuti, la vetrificazione trasforma un rifiuto solido in una massa vetrosa difficilmente aggredibile dal punto di vista chimico e biologico. I composti organici presenti nel rifiuto sono completamente distrutti, mentre gli inquinanti inorganici vengono in parte trascinati dal flusso gassoso sotto forma di vapori o di particolato (che, pertanto, deve essere opportunamente gestito con appropriate linee di trattamento), ma principalmente inglobati nella matrice vetrosa. Altri vantaggi riguardano la

riduzione del volume e della pericolosità del rifiuto, nonché la possibilità di miscelare rifiuti solidi di diversa natura e origine. Di contro, questo processo è altamente energivoro e costoso, ma permette di dare nuova vita a rifiuti quali scorie di inceneritore, fanghi ceramici, ceneri leggere di carbone, scarti agroalimentari ecc. per ottenere materiali ad alto valore aggiunto come smalti ceramici, fibre, vetri fertilizzanti, nonché granulati vetrosi che, previo trattamento termico controllato, portano all'ottenimento di materiali semicristallini (vetroceramici) con proprietà migliorate rispetto al vetro d'origine giustificando il costo del processo stesso [1].

Sinterizzazione

La sinterizzazione è un processo di densificazione, ottenuto per trattamento termico, di un compatto di polveri, con rimozione della porosità interstiziale, coalescenza e sviluppo di forti legami tra particelle adiacenti. Le polveri vengono di solito pressate in modo da ottenere manufatti di forma e dimensioni volute, già pronti per la lavorazione finale. Le variabili che influenzano maggiormente il processo sono la natura chimica e la densità iniziale del

1 Lastra ceramica in pasta di vetro.

2 Pannello di geopolimero.

materiale, le dimensioni delle particelle, la pressione, il tempo e il ciclo di riscaldamento, l'atmosfera all'interno del forno che può essere riducente od ossidante. Per quanto riguarda l'ambito dei rifiuti, i vantaggi più importanti della tecnologia consistono nella riduzione di volume, nell'ottenimento di un materiale ad alto grado di compattazione che diventa resistente agli agenti atmosferici con diminuzione della lisciviazione. Poiché questo riscaldamento controllato porta, come effetto finale, l'immobilizzazione e l'inertizzazione dei composti pericolosi contenuti nel rifiuto, viene particolarmente utilizzato nell'inglobamento di metalli pesanti in matrici ceramiche. I materiali che si possono ottenere ricadono nel settore edile, come tegole, mattoni, piastrelle ecc. a partire da rottame di vetro da imballaggi e da Raee, fanghi ceramici, scorie di acciaieria e di inceneritore, scarti agroalimentari ecc. È anche possibile realizzare vetroceramici o grès porcellanato, che rispetto ai materiali ceramici contengono maggiore quantità di vetro e, quindi, mostrano una stabilizzazione migliore dei componenti tossici del rifiuto [1, 2].

Inertizzazione con riscaldamento a microonde

Le microonde, radiazioni elettromagnetiche coerenti e polarizzate con frequenza compresa fra 0,3 e 300 GHz, sono in grado di indurre il riscaldamento di numerosi tipi di materiali. Al pari degli altri metodi basati sull'irraggiamento, il riscaldamento a microonde non comporta il contatto diretto fra la sorgente di calore e il materiale da riscaldare e quindi le geometrie dei forni sono assai semplici. I vantaggi del riscaldamento con irraggiamento di microonde, purché siano di potenza adeguata, sono numerosi: velocità di riscaldamento rapidissime, tempi brevissimi di trattamento e, di conseguenza, risparmio energetico. Questi vantaggi sono dovuti al fatto che è il materiale da scaldare che assorbe direttamente e rapidamente l'energia del campo elettromagnetico trasportato dalle microonde. Questa tecnologia di riscaldamento consente di eseguire cicli di vetrificazione o sinterizzazione ottenuti con forni a gas o a resistenze e quindi permette di raggiungere gli stessi vantaggi finali del manufatto anche in termini di inertizzazione di rifiuti pericolosi.

Un caso interessante riguarda i rifiuti contenenti amianto che, sia in forma

compatta che in fibra sciolta, risulta assorbire molto bene l'energia trasportata dalle microonde. Il trattamento termico che degrada le fibre, facendo loro raggiungere una microstruttura e una composizione chimica inerte, viene condotto in poche decine di minuti, che, confrontati con le ore impiegate per i trattamenti convenzionali, porta a vantaggi energetici assai rilevanti. Il prodotto finale, analogamente a quanto osservato per i trattamenti convenzionali, non è più pericoloso, ma può essere sfruttato in formulazione di cementi o nella produzione di materiali ceramici [1, 3].

Trattamenti a freddo

Geopolimerizzazione

Si parla di "geopolimeri" quando si considera una tecnologia di produzione di manufatti inorganici prodotti a partire da polveri, principalmente alluminosilatiche ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 > 80$ peso %), disciolte in ambiente fortemente basico, lavorando a temperatura ambiente così da evitare produzione di gas serra. In questi ultimi dieci anni tali materiali stanno avendo una buona diffusione come matrici per l'inglobamento di sostanze pericolose [4]. A questo proposito, la tecnologia della geopolimerizzazione rappresenta un ottimo processo sia per la valorizzazione che per l'inertizzazione di rifiuti solidi e liquidi [5]. Nel primo contesto si inseriscono i rifiuti non pericolosi che possono essere utilizzati come precursori alluminosilatici per ottenere la matrice geopolimerica, come ad esempio scorie di inceneritore o di acciaieria, ceneri leggere da centrali termoelettriche ecc.



2

Rifiuti pericolosi, quali ceneri leggere di inceneritore, rifiuti da inchiostri per la decorazione digitale di piastrelle ecc., possono essere inertizzati in questa matrice inorganica come per la vetrificazione. Il processo avviene a freddo mescolando il rifiuto, in polvere o liquido, con un'opportuna quantità di polvere di alluminosilicato naturale o da rifiuto e di soluzione alcalina. L'aspetto più delicato di questi materiali è che vengono utilizzate soluzioni basiche, ma possono essere definiti ecologici poiché portano a:

- incremento del riciclo di rifiuti e sfruttamento di materie prime seconde
- riduzione dell'estrazione di materie prime e di emissioni di CO_2
- produzione di materiali che possono essere smaltiti in discariche per rifiuti non pericolosi o addirittura trovare un'applicazione.

Fernanda Andreola, Luisa Barbieri, Isabella Lancellotti, Cristina Leonelli

Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari", Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Fernanda Andreola, Luisa Barbieri, Isabella Lancellotti, Cristina Leonelli, "Thermal Treatments for the recovery of value added materials", in *Waste recovery, Strategies, Techniques and Applications in Europe*, Ed. FrancoAngeli, 2009, 151-164, ISBN 978-88-568-1040-0.
- [2] F. Andreola, L. Barbieri, C. Leonelli, I. Lancellotti, T. Manfredini, "Recycling of industrial wastes in ceramic manufacturing: state of art and glass case studies", *Ceram. Intern.*, 42(12), 13333-13338, 2016.
- [3] C. Leonelli, P. Veronesi, D.N. Boccaccini, M.R. Rivas, L. Barbieri, F. Andreola, I. Lancellotti, D. Rabitti, G.C. Pellacani "Microwave thermal inertisation of asbestos containing waste and its recycling in traditional ceramics", *J. Hazard. Mater.*, B135, 149-155, 2006.
- [4] I. Lancellotti, L. Barbieri, "Geopolimeri come matrici inertizzanti", in *Geopolimeri. Polimeri inorganici chimicamente attivati*, a cura di C. Leonelli e M. Romagnoli, ISBN 978-1-4477-1913-7, 2011.
- [5] I. Lancellotti, C. Ponzoni, L. Barbieri, C. Leonelli, "Wastes materials in geopolymers" in *Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities*, CRC Press, Taylor and Francis Group, London, 2015, pp. 115-119, ISBN 978-1-138-02882-1.