

L'ing. **Giuseppe Deleonibus**, 26 anni, di Monopoli (BA) ha conseguito la laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio (curriculum Tutela Ambientale e Controllo dell'Inquinamento) c/o l'Università degli Studi della Basilicata. Ha discusso la Tesi in Gestione dei Rifiuti Industriali sotto la guida del prof. Gian Lorenzo Valenti e della prof.ssa Milena Marroccoli. Il titolo della Tesi è **“Caratterizzazione e recupero di scorie del processo di incenerimento di rifiuti solidi urbani per la sintesi di cemento ordinario”**.

In Europa si produce più di un chilogrammo di rifiuti solidi urbani pro capite ogni giorno, pari a circa 200 milioni di tonnellate l'anno; a questa enorme quantità di rifiuti devono essere aggiunti i rifiuti di altro tipo (industriali, speciali, ecc.) il cui quantitativo è in continuo aumento.

In Italia, circa il 70% dei rifiuti viene stoccato in discarica: le discariche legali si stanno rapidamente esaurendo e il rischio di inquinare il terreno e le falde acquifere con metalli pesanti e sostanze tossiche rappresenta un'emergenza ambientale molto impegnativa per il futuro.

L'alternativa allo stoccaggio dei rifiuti solidi urbani in discarica, soprattutto per quanto concerne i cosiddetti rifiuti non riciclabili, è quella dell'incenerimento. Questa tecnica permette di ridurre il volume dei rifiuti del 70-80% e il loro peso del 60-70%; è inoltre possibile sviluppare impianti di cogenerazione nei quali una parte del calore utilizzata per l'incenerimento viene recuperata per essere utilizzata nel teleriscaldamento o per produrre energia elettrica.

L'incenerimento non risolve, comunque, radicalmente il problema delle discariche in quanto dall'incenerimento di una tonnellata di rifiuti si ottengono circa 30 kg di ceneri volanti e 300 kg di ceneri pesanti. Le ceneri volanti contengono quantità rilevanti di metalli pesanti (Zn, Pb, Cd, Cr, ecc.) e devono essere disposte in discarica controllata.

Le ceneri pesanti, in Italia, vengono, nella maggioranza dei casi, poste in discarica ad un costo di circa 0.08÷0.10 €/kg e in percentuale minima utilizzate come materia prima nell'industria cementiera per la produzione di clinker (come previsto dai D.M. 5/2/97 “Decreto Ronchi” e D.M. 5/2/98) e dal D. M. 186/2006. La recente normativa che regola la disposizione in discarica dei rifiuti renderà necessaria, in molti casi, l'introduzione di costosi trattamenti di stabilizzazione delle ceneri prima della loro collocazione in discarica. Infatti, oltre al costo e allo spazio occupato, esistono altri problemi connessi al collocamento delle ceneri pesanti in discarica: ad esempio il rilascio di sostanze tossiche negli eluati, l'emissione di gas (ad es. idrogeno), e di polveri contenenti cloruri, solfati e metalli pesanti; si registra inoltre un aumento della temperatura che può raggiungere i 90°C. In Europa, la percentuale di ceneri pesanti riciclate in materiali da costruzione (sottofondi stradali, conglomerati bituminosi, cemento, ecc.) è variabile (100% in Olanda, 50% in Francia e Germania, 70% in Danimarca). Il problema principale legato all'utilizzo delle ceneri pesanti tal quali consiste negli effetti dannosi diretti e indiretti nei confronti dell'ambiente e della salute umana. Alcuni ricercatori hanno dimostrato l'ecotossicità delle ceneri pesanti riutilizzate in materiali da costruzione. In realtà, se le ceneri subiscono opportuni trattamenti, i rischi di ecotossicità possono ridursi in misura significativa. Ricerche in questo settore sono ancora in corso.

Per tutto il XX secolo l'industria del cemento ha contribuito in modo determinante al progresso della comunità fornendo i materiali da costruzione per le infrastrutture e gli edifici delle moderne città. Per il XXI secolo si prospetta un nuovo ruolo per l'industria del cemento: contribuire alla soluzione dei problemi dei rifiuti solidi urbani ed industriali seguitando a garantire le proprietà fondamentali dei materiali da costruzione così come finora prodotti (1).

Il rapido aumento dei rifiuti solidi urbani ed industriali sta provocando seri problemi ambientali nei paesi industrializzati come in quelli in via di sviluppo. In Giappone i rifiuti solidi urbani (cioè le immondizie) sono arrivati a 50 milioni di tonnellate/anno nel 1997. L'apertura di nuove discariche trova ovunque una fiera opposizione da parte dei residenti locali. D'altra parte, l'attesa di esercizio delle discariche esistenti si sta rapidamente consumando.

Per anni gli amministratori dei comuni hanno scelto gli inceneritori di immondizie per ridurre il

volume di ingombro dei rifiuti ed aumentare così la capacità di stoccaggio delle attuali discariche. L'inceneritore, però, non è una soluzione finale del problema perché anche le ceneri dei rifiuti urbani debbono essere comunque portate a discarica. Inoltre esse richiedono un costante monitoraggio perché spesso contengono sostanze tossiche come diossine ed alcuni metalli pesanti che richiedono cure e trattamenti molto costosi, per evitare danni nell'ambiente.

Il problema della minore disponibilità delle discariche e della tossicità delle ceneri dei rifiuti urbani non è un problema solo del Giappone ma esiste in tutto il mondo. Lo sviluppo dell'*Eco-cemento* in Giappone ha coinvolto la NEDO (*New Energy Development Organization*) un'organizzazione del Ministero del Commercio e dell'Industria. La ricerca è stata affidata alla fondazione *Clean Japan Center* con la quale collaborano tre compagnie private: Taiheyo Cement (ex Chichibu Onoda Cement) *leader* del progetto, Ebara ed Aso Cement. Attualmente nella società Taiheyo Cement è operativo un impianto pilota per produrre 50 Tonn/giorno. Nel frattempo dalle locali autorità governative sono stati approvati due impianti industriali che attualmente sono in fase di progetto: in uno si produrranno 200.000 Tonn/anno di *Eco-cemento* (dove si consumeranno 130.000 Tonn/anno di ceneri da inceneritore); nel secondo impianto si produrranno 95.000 Tonn/anno di *Eco-cemento* con 90.000 Tonn/anno di ceneri da inceneritore.

L'industria del cemento, fin dalle origini, è stata in grado di utilizzare rifiuti solidi come fonte di energia o di materia prima. Con riferimento al recupero in qualità di materia, i rifiuti possono essere impiegati sia in sostituzione delle materie prime naturali per la produzione del semilavorato (clinker), sia in parziale sostituzione del clinker nella produzione del cemento.

Con il lavoro di tesi si è affrontato il problema del recupero di scorie (*bottom ash*), ossia ceneri di fondo prodotte all'interno della camera di combustione, provenienti dal termovalorizzatore FENICE S.p.A. di Melfi (PZ), proponendone l'impiego sia come aggiunte pozzolaniche ad un clinker industriale sia come componenti delle materie prime di alimentazione al forno.

La sperimentazione in laboratorio è stata proceduta da:

- Studio della recente normativa nazionale e comunitaria in materia di gestione dei rifiuti
- Ricerca, attraverso la bibliografia nazionale e internazionale, di esempi significativi di trattamento e recupero di *bottom ash*, per dedurre da questi spunti operativi
- Esame dei cementi attualmente commercializzati in Italia
- Analisi del processo di incenerimento dei rifiuti solidi urbani adottato nell'impianto FENICE

Oltre agli ingredienti tradizionali (pozzolana naturale e loppa d'altoforno) da tempo impiegati per la produzione del cemento pozzolanico e d'altoforno, altri prodotti minerali - quasi tutti di recupero da processi industriali - sono stati introdotti nel processo produttivo dei cementi. Questi includono: la cenere volante (di tipo calcico o silicico), residuo della combustione nelle centrali termiche a carbone; il fumo di silice, sottoprodotto del processo produttivo del silicio metallico o delle leghe metalliche ferro-silicio; la cosiddetta pozzolana industriale, scoria vetrosa delle lavorazioni di leghe metalliche non-ferrose; lo scisto calcinato, residuo della torrefazione di scisti argillosi impregnati di bitume, ed il calcare di origine naturale, unico ingrediente privo in realtà di caratteristiche pozzolaniche.

Qualche commento meritano la disponibilità in Italia di questi ingredienti e quindi la effettiva possibilità di reperire localmente i cementi che secondo la nuova normativa dovrebbero contenerli. La cenere volante si presenta in forma di particelle pressoché sferiche (5-90 μm), piene o più spesso cave, capaci di favorire, proprio per la loro forma tondeggianti, la lavorabilità dei calcestruzzi, oltre che la pozzolanicità dei cementi. La cenere volante disponibile in Italia è quella di tipo siliceo proveniente dalla combustione dei carboni bituminosi, mentre è di fatto non disponibile quella di

tipo calcico residuo della combustione delle ligniti o dei carboni sub-bituminosi.

Il fumo di silice si presenta in forma di microsfele con dimensioni prevalentemente al di sotto di 0.1 μm , e quindi capaci di allocarsi negli interstizi tra i granuli di cemento (1-50 μm). Tuttavia, la elevata finezza del fumo di silice non ne consente una percentuale d'impiego maggiore del 10% nel cemento per il conseguente aumento nella richiesta d'acqua di impasto. Di fatto, il fumo di silice - quasi sempre abbinato ad un superfluidificante per compensare la eccessiva richiesta d'acqua - viene per lo più impiegato come additivo in polvere per calcestruzzi speciali impermeabili ed alta resistenza meccanica a compressione ($> 60 \text{ N/mm}^2$).

La pozzolana industriale, come anche lo scisto calcinato, non viene di fatto impiegata in Italia per la produzione di cementi di miscela.

Il calcare finemente macinato è un ottimo fillerizzante laddove si voglia produrre un cemento Portland a minore percentuale di clinker - per ridurre per esempio lo sviluppo del calore di idratazione - ma che consenta egualmente di pompare agevolmente il calcestruzzo per la ricchezza di materiale fine.

L'idea di produrre un cemento a base di scorie tal quali (quindi non inertizzare) è nata leggendo la letteratura scientifica sino ad ora prodotta e dalle analisi in assorbimento atomico condotte sulle stesse scorie dalle quali è emerso che le scorie, come la pozzolana, sono costituite da inerti, ossidi, idrossidi, silicati, cloruri, solfati, carbonati metallici, metalli pesanti e tracce di inquinanti organici. Da ciò deriva la possibilità di sostituire completamente o parzialmente la pozzolana naturale (materia prima per la produzione di clinker di Portland) con scorie non vetrificate o inertizzate. Come previsto dal Decreto 05 Febbraio 1998, All. 1, Sub-All. 1, p.to 13.3 e poi confermato dal D.M. 05 Aprile 2006, n° 186, l'unica attività di recupero prevista per le scorie è quella del loro impiego in cementifici.

Una sperimentazione dello stesso calibro è stata condotta in Giappone dalla Taiheiyo Cement Corporation.

Dal processo di incenerimento, rimangono per scorie pari a circa il 30% dei rifiuti trattati. E cioè, già oggi, circa 700.000 tonnellate di ceneri pesanti che costituiscono un ulteriore rifiuto da smaltire in discariche controllate del tipo 2b.

Dal '97, grazie agli articoli 31 e 33 del decreto Ronchi, è stata aperta la via teorica al riutilizzo in cemeniera di queste scorie, a patto che siano separate dai residui ferrosi e dagli eventuali incombusti presenti.

Ora io con i miei prof. abbiamo sperimentato un sistema innovativo che permette di produrre un materiale utilizzabile dalle cemeniere.

Ciò in prospettiva permetterà di limitare la costruzione di discariche controllate, una immediata ed economica disponibilità di materie prime per le cemeniere e un considerevole risparmio per le aziende che smaltiscono gli Rsu tramite incenerimento.

Il prodotto che deriva dal processo di trattamento realizzato da noi è composto all'70-80% da un mix di calcare, argilla o sabbia silicea e da un 20-30% di scorie "pesanti".

Queste ultime contengono una considerevole quantità di ferro che a sua volta può essere ulteriormente selezionato per essere conferito al Consorzio obbligatorio per il riciclaggio dei metalli, dipendente dal Conai. Ciò permette di ottenere un ulteriore contributo statale per le ex municipalizzate.

Il maggior problema all'impiego di queste ceneri è rappresentato dalla presenza di cloruro in quantità rilevanti (che potrebbe provocare la corrosione delle armature metalliche) e di indesiderabili metalli pesanti sia pure in tracce.

Prove di liscivazione dei metalli pesanti su malte di cemento sono state eseguite in accordo ai procedimenti della Delibera Interministeriale 14 Luglio 1986. I risultati indicano che le quantità di metalli pesanti liscivabili sono nettamente al di sotto dei valori standard previsti dalla *normativa vigente*.

Svolgimento della ricerca: dapprima è stata analizzata la Normativa vigente legata ai residui per valutare l'eventuale utilizzo delle ceneri come materia prima secondaria. In seguito si sono caratterizzate le ceneri dal punto di vista fisico mediante la valutazione della struttura superficiale, il contenuto ed assorbimento di umidità, l'analisi granulometrica, la perdita in peso per calcinazione, la densità, i sali solubili in acqua; e dal punto di vista chimico mediante la fluorescenza a raggi X, la diffrazione a raggi X, la spettrometria al plasma ICP e la microanalisi per energia dispersa ai raggi X (EDAX). A questo punto si sono realizzate matrici sostituendo parzialmente al legante le diverse ceneri fino ad una quota massima del 43% e poste in ambiente ad umidità e temperatura controllata. Quindi sono stati indagati i tempi di inizio e fine presa, la resistenza a compressione e il rilascio di metalli pesanti con lo scopo di poter valutare l'utilizzo di matrici così ottenute per applicazioni non strutturali quali, ad esempio, la realizzazione di sottofondi stradali e piste per aeroporti.

Risultati conseguiti: le matrici sostituite sono dotate di discrete proprietà meccaniche, cessione di metalli pesanti non superiore ai limiti di Legge e consistente ritardo dei tempi d'inizio e fine presa. Le ceneri pesanti prodotte dagli inceneritori di rifiuti solidi urbani (RSU) sono prevalentemente composte da silice amorfa (in genere più del 50%) e ossidi di alluminio, ferro e calcio. Questi residui hanno, quindi, una composizione simile a quella delle ceneri volanti prodotte dalle centrali termiche a carbone (coal fly ash, FA), tradizionalmente impiegate come aggiunte pozzolaniche in grado di migliorare la durabilità delle opere in calcestruzzo armato. Per questa similitudine, le ceneri pesanti da RSU, una volta macinate finemente, possono manifestare caratteristiche pozzolaniche o idrauliche. L'impatto ambientale dell'industria del calcestruzzo potrebbe notevolmente ridursi se le ceneri pesanti da RSU potessero essere effettivamente utilizzate come aggiunte minerali. In tal caso, infatti, residui come le ceneri pesanti da RSU, che devono essere smaltite in grandi quantità in tutto il mondo, potrebbero essere convertite in una risorsa utile per il confezionamento di calcestruzzi di qualità e durevoli. Alcuni ricercatori hanno effettivamente mostrato l'attività pozzolanica delle ceneri pesanti da RSU macinate, mostrando la loro reattività con la calce o con il clinker di cemento portland.

Conclusioni

- Il cemento prodotto contribuisce alla produzione di cemento ordinario ma anche alla soluzione di problemi ambientali ed al riciclo di metalli pesanti.
- Si riducono significativamente il volume di rifiuti da destinare alla discarica, anzi potenzialmente si recuperano energia e materia dalle discariche esistenti
- Si riducono il consumo di materie prime naturali non rinnovabili, destinate alla produzione di leganti idraulici, conglomerati bituminosi e cementizi materie prime naturali non rinnovabili.
- Le scorie generate dall'incenerimento di R.S.U. nell'impianto di termovalorizzazione FENICE di Melfi (PZ) possono essere utilmente impiegate sia come aggiunte pozzolaniche al clinker di cemento Portland sia, in parziale sostituzione di materie prime naturali, come componenti della miscela cruda di alimentazione al forno di cemento
- È stato soddisfatto il saggio di pozzolanicità da parte di un cemento contenente 50% di clinker, 45% di un campione di scoria e 5% di gesso naturale
- Miscele generatrici di clinker di cemento Portland contenenti singolarmente i campioni di scorie nella misura del 20% e del 30% hanno manifestato una cuocibilità ottima, anche se leggermente inferiore a quella di una miscela di riferimento a base di sole materie prime naturali
- Prove in analisi termica condotte su paste di cementi a base di clinkers sintetici ottenuti da miscele contenenti scorie hanno evidenziato uno sviluppo analogo dei prodotti di idratazione, anche rispetto a quello manifestato da un cemento di riferimento.