



**DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA CIVILE, EDILE-
ARCHITETTURA, AMBIENTALE E DEL TERRITORIO**

XV Ciclo - Nuova Serie (2014-2016)

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO**

**INNOVATIVE TREATMENTS FOR
RESOURCE RECOVERY FROM WASTE
ELECTRICAL AND ELECTRONIC
EQUIPMENT**

**TRATTAMENTI INNOVATIVI PER IL RECUPERO DI
RISORSE DAI RIFIUTI DI APPARECCHIATURE
ELETTRICHE ED ELETTRONICHE**

SOMMARIO

ING. ALESSANDRA MARRA

Relatore:
PROF. ING. VINCENZO BELGIORNO

Coordinatore:
PROF. ING. CIRO FAELLA

Correlatore:
PROF. ING. VINCENZO NADDEO

SOMMARIO

La popolazione in continua espansione, il crescente sfruttamento delle risorse e la conseguente carenza di materie prime hanno orientato negli ultimi anni le strategie di gestione dei rifiuti da un approccio lineare basato sul modello del “estrai-produci-usa-getta” verso una visione circolare in cui i rifiuti di un’attività diventano materie prime per un’altra. L’attenzione è stata, pertanto, sempre più incentrata sulla possibilità di utilizzare i residui delle attività antropiche come scorte di materie secondarie in sostituzione di materiali vergini, così come promosso dal noto concetto dell’ “urban mining” o “miniere urbane”.

In tale contesto, i rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) costituiscono ad oggi delle vere e proprie miniere urbane. Tale flusso di rifiuti è caratterizzato dai maggiori tassi di crescita per anno (3-5%) e dalla più varia composizione di materiali dal momento che i RAEE possono contenere più di 1000 differenti sostanze, tra cui metalli di base, metalli preziosi e metalli critici.

La possibilità di recuperare dunque “materie prime critiche”, quali le terre rare presenti all’interno dei rifiuti elettronici, si configura come una importante opportunità sia in termini economici che ambientali.

Tuttavia, il riciclaggio dei RAEE è ostacolato dalla loro complessa natura che, accanto a materiali di valore, prevede anche sostanze pericolose. La presenza, difatti, di componenti tossiche è motivo di grande preoccupazione specialmente in riferimento ai paesi in via di sviluppo dove il “canale informale” è ancora ampiamente diffuso ed i RAEE vengono gestiti in maniera inadeguata in conseguenza di una mancanza di riferimenti normativi.

Nei paesi sviluppati, la raccolta differenziata è il primo step di un sistema che mira a perseguire una gestione sostenibile dei RAEE; processi di trattamento meccanico sono poi implementati per separare i metalli dai restanti materiali per il loro successivo recupero mediante processi metallurgici.

I trattamenti metallurgici attualmente utilizzati per il recupero dei metalli dai RAEE hanno tuttavia gravi impatti sull’ambiente a causa della produzione di rifiuti secondari. Inoltre, l’industria del riciclo dei RAEE è

ad oggi ancora nella sua fase iniziale soprattutto in riferimento al recupero delle terre rare.

Tutte queste ragioni hanno contribuito ad accrescere l'interesse sia del mondo scientifico che di quello industriale verso lo sviluppo di tecnologie a basso costo e minor impatto per il trattamento dei RAEE.

In tale contesto, il presente progetto di ricerca è stato mirato a:

- caratterizzare i RAEE in termini di metalli di base e metalli critici, in modo tale da identificare e quantificare il contenuto di materiali di valore e sostanze pericolose per sviluppare una valida e sostenibile strategia di trattamento;
- valutare il destino dei metalli critici nel corso dei convenzionali trattamenti meccanici dei RAEE con particolare riferimento all'efficienza di selezione e al potenziale di recupero;
- investigare la fattibilità dell'applicazione di trattamenti innovativi nel campo dell'idro- e della bio-metallurgia per il recupero dei metalli critici e di valore dai RAEE.

A tale scopo, l'attività sperimentale è stata sviluppata secondo tre fasi principali, funzionali al raggiungimento degli obiettivi specifici del progetto di ricerca:

- la prima fase è stata incentrata sulla caratterizzazione dei RAEE in termini di metalli di base e metalli critici. Campioni rappresentativi di RAEE sono stati prelevati presso un impianto di trattamento a scala reale localizzato nel Sud Italia e analizzati nel loro contenuto di metalli;
- i dati ottenuti dalla caratterizzazione sono stati quindi utilizzati nella seconda fase dell'attività, al fine di condurre un bilancio di massa per investigare il destino dei metalli, in particolare di quelli critici, durante i convenzionali trattamenti meccanici;
- la terza e ultima fase è stata focalizzata sull'applicazione dei processi idro- e bio-metallurgici per il recupero dei metalli critici e di valore dai RAEE. Dal momento che i risultati della fase precedente hanno evidenziato che a seguito dei convenzionali trattamenti meccanici significative concentrazioni di metalli preziosi e terre rare vengono raccolte nelle polveri originate dal processo di trattamento dell'aria, tale matrice è stata utilizzata come fonte secondaria di metalli critici per testare i trattamenti proposti. Sia agenti chimici, tra cui un agente non convenzionale come la tiourea, che agenti biologici sono stati utilizzati per eseguire le prove di lisciviazione. L'uso della polvere, al

momento destinate a smaltimento a discarica, ed i trattamenti proposti per il recupero dei metalli critici hanno segnato l'innovazione della ricerca.

Le prime due fasi sono state svolte presso la Divisione di Ingegneria Sanitaria Ambientale (SEED) dell'Università degli studi di Salerno. Le prove idrometallurgiche incluse nella terza fase dell'attività sperimentale sono state anch'esse condotte presso il laboratorio SEED mentre le prove biometallurgiche sono state svolte presso il laboratorio dell'Istituto Unesco-IHE di Delf (Paesi Bassi).

I risultati dell'attività sperimentale condotta hanno mostrato che le terre rare presenti in tracce all'interno dei RAEE non entrano nella catena di recupero, dal momento che circa l'80% in massa risulta concentrato in flussi, quali le polveri, non destinati al successivo recupero. In maniera analoga, il 24% dei metalli preziosi contenuti nei RAEE in ingresso al trattamento meccanico sono raccolti all'interno di tale frazione. Le polveri si configurano, pertanto, come una potenziale fonte secondaria di materiali critici e di valore da essere sottoposta a successivo recupero.

I processi idro- e biometallurgici applicati hanno mostrato il loro grande potenziale nel recuperare fino al 99% dei metalli critici concentrati nelle polveri. Tali promettenti risultati hanno evidenziato che i processi idro- e biometallurgici possono essere considerati come una valida opzione di gestione delle polveri derivanti dal trattamento meccanico dei RAEE che attualmente rappresentano un costo di smaltimento per l'impianto. Il trattamento delle polveri mediante tali processi fornisce una strategia per reintrodurre tale matrice, al momento smaltita in discarica, nella spirale del ciclo di vita dei prodotti, limitando la perdita delle risorse in essa contenute in accordo con l'approccio promosso dall'economia circolare. Inoltre, i risultati del presente studio sono di rilevante interesse dal momento che hanno mostrato, in particolare, il potenziale di recupero di metalli critici e di valore dai RAEE mediante processi a basso costo e basso impatto nel campo della biometallurgia, come valida alternativa ai convenzionali trattamenti pirometallurgici ed idrometallurgici.