

Titolo della tesi  
**Caratterizzazione e recupero di oro e rame da schede elettroniche di telefoni cellulari**

**Tesi sperimentale**

Tipo di Laurea:

**Laurea magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio  
Indirizzo Tutela dell'ambiente**

Sessione di Laurea  
**22 marzo 2018**

anno accademico **2017/2018**

Candidato: **Francesco Maria Arena**

Matricola: **1346609**

Relatore: **Luigi Piga**

SSD Relatore: **Ingegneria delle materie prime**

Correlatore: **Nicolò Maria Ippolito**

**Riassunto**

Lo smaltimento dei rifiuti è oggi fra le problematiche più importanti dei paesi industrializzati e, in particolare, del nostro paese. I RAEE, rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche, rappresentano una delle categorie di rifiuti per le quali la gestione e i processi di recupero e/o smaltimento risultano ancora piuttosto complessi.

Tra i RAEE, di particolare interesse per quantità immessa sul mercato e per contenuto in metalli preziosi e/o strategici vanno annoverati i Telefoni Cellulari, dispositivi soggetti ad un continuo progresso tecnologico e ad una sostituzione sempre più frequente con modelli più nuovi e performanti. Ciò riduce notevolmente il tempo di vita medio, dando origine ad una crescente quantità di rifiuti elettronici contenenti materiali di interesse economico come oro, rame, argento, nichel, piombo, etc. Tali elementi potrebbero essere recuperati e riutilizzati nell'ottica di un'economia circolare, riducendo il consumo di materie prime ed evitando il rilascio di sostanze pericolose nell'ambiente. Ad oggi tali rifiuti, annoverati tra i piccoli elettrodomestici della categoria R4, non sono inseriti in una filiera di trattamento completa, ma vengono raccolti insieme agli altri RAEE presso i centri di conferimento e inviati in impianti di trattamento accreditati per essere trattati meccanicamente e poi rivenduti all'estero, mentre il trattamento chimico resta ancora piuttosto marginale nel nostro paese.

Il presente lavoro ha avuto come scopo il recupero di oro e rame dai telefoni cellulari arrivati alla fine del loro ciclo di vita. Il recupero dei metalli è stato ottenuto per via idrometallurgica ed utilizzando un reagente, tiourea, molto più ecocompatibile rispetto al reagente comunemente utilizzato che è il cianuro di potassio.

L'attività sperimentale svolta è consistita in una fase di caratterizzazione delle schede elettroniche dei telefonini finalizzata allo scopo di determinare il contenuto di oro e rame, uno studio di alcune possibili operazioni di arricchimento in metalli del materiale in modo da facilitare i trattamenti successivi e lo sviluppo di un processo idrometallurgico per il recupero dell'oro e del rame.

Dalle analisi chimiche si è determinato che le schede sono costituite principalmente da rame (27 %), e hanno una concentrazione di oro di 439 mg/kg e di argento di 336 mg/kg (valori medi di 6 repliche). L'oro, seppur presente in basse concentrazioni, contribuisce al 91% del valore delle schede. È stata anche calcolata la densità in mucchio delle schede elettroniche frantumate (con dimensione < 4 mm), che è risultata essere di 2,7 g/cm<sup>3</sup>.

Si è condotta un'operazione di arricchimento tramite vagliatura, con lo scopo di valutare la presenza di una specifica classe granulometrica in cui si concentrassero i metalli, in particolare l'oro. La granulometria al di sotto dei 0,125 mm ha mostrato un arricchimento dell'oro (1166 mg/kg) rispetto al materiale di partenza, a fronte di una perdita del 20 % e una riduzione del materiale da inviare ai successivi trattamenti del 39 %.

Un altro metodo di arricchimento è stato studiato tramite l'utilizzo di una tavola a scosse, al fine di eliminare le plastiche e concentrare i metalli valorizzabili. Lavorando con una granulometria di 0,5 mm si è ottenuto una perdita di oro del 13 % con una riduzione del materiale da trattare del 26 %.

Il processo idrometallurgico individuato in base ai risultati ottenuti da sperimentazioni fattoriali è costituito da un trattamento di lisciviazione con acido nitrico per la rimozione del rame e dalla lisciviazione con tiourea per il recupero dell'oro. Le prove di lisciviazione sono state condotte utilizzando una polvere di schede con una granulometria inferiore a 0,5 mm ottenuta tramite due stadi di comminazione, al fine di aumentare la superficie specifica e il grado di liberazione dei metalli di interesse. Le condizioni operative ottimali per il trattamento preliminare sono state: concentrazione di acido nitrico 3 M, tempo di lisciviazione 1 h. Con tali condizioni si ottiene quasi il 100 % di recupero del rame presente nelle schede. Per il trattamento di lisciviazione con tiourea si è ottenuto un recupero dell'oro di circa l'80 % con le seguenti condizioni operative: concentrazione di tiourea 40 g/L, concentrazione di acido solforico 0,1 M, concentrazione di Fe<sup>3+</sup> 0,4 %, rapporto liquido-solido 5, temperatura 25 °C, tempo di lisciviazione 1 h.

I trattamenti idrometallurgici individuati sono anche stati eseguiti su una scheda elettronica intera, i risultati ottenuti evidenziano la necessità di lavorare su una polvere di schede, infatti, non si è ottenuta una dissoluzione accettabile di rame (56,4 %) e di oro (22,4 %) dopo 24 h.

Sulla base del flowsheet proposto si è effettuato un bilancio di materia e un'analisi economica preliminare al fine di valutare la fattibilità tecnico-economica. Ipotizzando un impianto pilota con una capacità di 150 ton/anno, considerando i costi di acquisto delle schede elettroniche (15 €/kg), dei reagenti e del personale, dal recupero di oro, rame e argento si ha un profitto annuo pari a circa 160.000 €.

Introdurre una filiera idrometallurgica ecocompatibile per il recupero dei valori metallici contenuti nei telefoni cellulari giunti a fine vita, porterebbe benefici in termini di riciclo dei materiali, di riduzione dell'uso delle risorse naturali, di un minor impatto ambientale e di ricadute socio-economiche, dovute alla creazione di nuove attività e conseguente numero di addetti nel settore del riciclo.