

**Titolo della tesi:** Stato dell'arte sui processi di trattamento finalizzati al recupero di terre rare da rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (Tesi Compilativa)

**Tipo di Laurea:** Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

**Sessione di Laurea:** Marzo

**Anno accademico:** 2015/2016

**Nome Candidato:** Franco Petrucci

**Matricola:** 779006

**Relatore:** Ing. Floriana La Marca

**SSD Relatore:** ING-IND/29

Con la denominazione di "terre rare" (in inglese, *Rare Earth* - RE) si individua un gruppo di 17 elementi chimici comprendente la serie dei lantanidi, oltre allo scandio e all'ittrio.

All'interno delle apparecchiature elettriche ed elettroniche (AEE), le RE conferiscono ai materiali impiegati proprietà uniche e ne migliorano le prestazioni soprattutto nelle applicazioni ad alta tecnologia. La diffusione delle AEE, di consumo e professionali, ha portato all'incremento della domanda di RE anche se il loro approvvigionamento risulta critico, poiché le riserve primarie di quest'ultime sono concentrate in pochi paesi (la maggior parte delle quali in Cina). Se la crisi finanziaria del 2008 e la crisi nella fornitura di RE del 2010 hanno avuto, da un lato, una influenza negativa nel settore indebolendo la domanda di prodotti ad alta tecnologia e rallentando la crescita dei mercati, dall'altro le restrizioni alle esportazioni della Cina tra il 2009 e il 2013, hanno esercitato pressioni al rialzo sui prezzi limitando ulteriormente la domanda. Dal 2013, la produzione si è stabilizzata, per tornare solo nel 2014 ai livelli pre-2008, cioè di circa 124000 t (di cui oltre il 90% cinese), causando un calo dei prezzi a livelli paragonabili a quelli pre-crisi. Nel futuro, la domanda di RE potrebbe aumentare considerevolmente a causa dei prezzi più bassi delle stesse e di una maggiore diffusione nel mercato, di prodotti con una loro concentrazione più alta.

I rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE), potrebbero fornire per le industrie una ulteriore fonte di materiale, sicura ed a lungo termine, contenente RE, anche se non potrà mai rispondere all'esigenza primaria in un mercato in crescita. Il problema principale connesso ai RAEE, è relativo all'elevato contenuto di sostanze e componenti pericolosi che li costituiscono e alla mancanza di una corretta gestione della dismissione a fine ciclo di vita. A causa del forte impatto sull'ambiente quindi, la normativa attualmente in vigore (D.Lgs.14 marzo 2014, n.49), stabilisce che la gestione dei RAEE deve prediligere le operazioni di riutilizzo e di preparazione per il riutilizzo degli stessi, dei loro componenti, sottoinsiemi e materiali di consumo. Qualora non sia possibile rispettare tali criteri di priorità, i RAEE dovranno essere condotti al trattamento adeguato, che in ogni caso deve minimizzare la frazione di rifiuti da avviare a smaltimento in discarica o a recupero energetico.

La maggior parte della ricerca sul riciclaggio è stata orientata verso la trasformazione chimica dei rifiuti raccolti contenenti RE, con tecnologie simili a quelle utilizzate per la trasformazione delle risorse primarie. Tuttavia, un riciclo efficiente di RE richiede lo sviluppo di sistemi ecocompatibili, completamente integrati e logisticamente alimentati dal flusso di riciclaggio. I metodi di riciclo comprendono le fasi della raccolta, della cernita e del pre-trattamento nonché l'applicazione di tecniche biometallurgiche, idrometallurgiche e pirometallurgiche, spesso anche in combinazione tra loro. Tra questi processi, il metodo della biometallurgia rappresenta il vero elemento innovativo, che si distingue in due aree principali: la biolisciviazione e il bioassorbimento. La biolisciviazione è un processo che permette il recupero di metalli da solfuri metallici, mediante reazioni battericamente assistite, mentre il bioassorbimento è un processo che, attraverso l'utilizzo di bioassorbenti viventi o non viventi, permette di accumulare attivamente metalli pesanti e preziosi. La biometallurgia offre una serie di vantaggi rispetto agli altri metodi, ovvero bassi costi di gestione, minimizzazione del volume di sostanze chimiche o dei fanghi utilizzati e una cinetica di assorbimento e desorbimento veloce ed efficiente. Il processo idrometallurgico consiste in una

serie di lisciviazioni acide o alcaline di materiale solido. Le soluzioni così ottenute sono poi sottoposte a procedure di separazione e purificazione, in modo da isolare e concentrare i metalli di interesse. Il trattamento tramite processo pirometallurgico, effettua invece la fusione/ossidazione in un forno-convertitore e la successiva scorificazione della maggior parte dei metalli presenti in piccole quantità, attraverso ulteriori trattamenti idrometallurgici.

Il riciclo delle RE offre una serie di vantaggi rispetto alla produzione primaria, che includono il ridotto impatto ambientale, l'assenza di elementi radioattivi da smaltire nelle scorie, la tempistica di produzione più breve e il miglioramento della gestione dei RAEE.

Tuttavia anche se questo è tecnicamente fattibile, alla scala di laboratorio, i tassi di riciclaggio di tali elementi dai RAEE in tutto il mondo, sono ancora molto bassi (<1%).

Attualmente, solo gli elementi delle RE contenuti nei fosfori e nelle batterie a fine ciclo di vita, sono stati oggetto di riciclo su scala industriale con impianti pilota. Tali metodi possono senza dubbio incrementare la loro efficienza, se per le AEE sono rispettati i requisiti fissati dalla direttiva sulla progettazione ecocompatibile, prendendo in considerazione gli aspetti relativi alla futura necessità di riciclaggio. Inoltre, analizzando il bene con una metodologia Life Cycle Assessment (LCA) si fornirebbero alle industrie del settore del riciclaggio, le informazioni essenziali per valutare il potenziale strategico di recupero dalle "miniere urbane". Non esistono infatti dati sufficienti, né per quantificare globalmente le dimensioni di queste "miniere urbane", né per determinare quale frazione dei rifiuti può essere economicamente elaborata.

Le problematiche che sono tuttora aperte e che possono influire sul riciclaggio dei RAEE rendendo antieconomica la separazione della frazione di RE, in essi contenuta sono: l'elevato contenuto di sostanze e componenti pericolosi che li costituiscono, la mancanza di una corretta gestione della dismissione delle AEE a fine ciclo di vita, i tassi di raccolta spesso insufficienti e non selettivi e la carenza di informazioni sulla quantità di materiali disponibili, contenenti RE. Quindi si può concludere che il riciclaggio e il riutilizzo dei metalli delle RE è una necessità, per un'economia efficiente delle risorse che ha il potenziale di compensare una parte significativa dell'estrazione primaria. Tuttavia il quadro illustrato suggerisce che, nelle attuali circostanze di prezzi bassi, di costi elevati per la tecnologia di riciclo non testata su scala industriale e dell'assenza di una raccolta efficace con percorsi di separazione adeguati, la creazione di una catena di valorizzazione per la maggior parte dei RAEE, non è attuabile a breve e medio termine.

Di fatto in assenza di una convenienza economica del trattamento dei RAEE, effettuato solo per il recupero delle RE, la necessità di ridurre gli impatti ambientali, sia per il minor ricorso a nuove escavazioni sia per la migliore gestione dei flussi di RAEE e la possibilità di estrarre altri metalli preziosi, giustificano le ricerche effettuate in tal senso.