

Titolo della tesi sperimentale:

Caratterizzazione orientata al riciclo dei circuiti stampati

Tipo di Laurea:

Laurea magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Indirizzo: Tutela dell'ambiente

Sessione di Laurea

Marzo 2018

anno accademico 2017/2018

Nome Candidato: Ludovica Fiore

Matricola: 1321912

Relatore

Prof.ssa Silvia Serranti

SSD Relatore: ING-IND/29

Correlatore

Giuseppe Capobianco

Riassunto della tesi:

I circuiti stampati o PCB (*“Printed Circuit Board”*) sono la componente fondamentale di qualsiasi apparecchiatura elettrica ed elettronica (AEE). I PCB, indispensabili per il funzionamento di tali apparecchiature, sono composti, oltre che da metalli tradizionali come il rame e l'alluminio, anche da metalli preziosi come oro, argento e palladio.

Un corretto recupero dei PCB consente di ottenere notevoli benefici sia dal punto di vista ambientale che dal punto di vista economico. Infatti, da un lato, si evita la dispersione nell'ambiente di sostanze tossiche e nocive e, dall'altro, si producono materie prime secondarie (metalli e plastiche) che vanno ad alimentare l'industria del riciclo, riducendo inoltre i consumi energetici e le emissioni di gas serra rispetto alla produzione ex-novo del materiale.

In tale ottica, il presente elaborato ha avuto come oggetto la caratterizzazione orientata al riciclo di circuiti stampati, sia interi sia macinati, attraverso l'utilizzo di metodi non distruttivi volti a valutare la quantità e la distribuzione spaziale dei diversi elementi chimici e, per

quanto riguarda i campioni macinati, ad analizzare il grado di liberazione dei metalli presenti con particolare riferimento al rame e all'alluminio.

Lo studio di caratterizzazione è stato compiuto su campioni di PCB provenienti dall'Ecole Nationale Supérieure de Géologie, University of Lorraine (Francia) e le relative analisi sono state eseguite presso il laboratorio RawMaLab del Dipartimento di Ingegneria Chimica, Materiali e Ambiente dell'Università la Sapienza di Roma.

Nello specifico, per la caratterizzazione dei campioni sono state svolte analisi con lo stereomicroscopio, necessarie ad osservare le loro caratteristiche morfologiche e strutturali, nonché analisi in micro-fluorescenza a raggi X ( $\mu$ XRF), per l'identificazione degli elementi chimici presenti.

Per quanto riguarda il PCB intero, tramite lo stereomicroscopio è stata analizzata la sezione del campione individuando cinque sottili piste in rame e cinque layers di substrato non conduttivo (fibra di vetro e resina epossidica).

In seguito è stata condotta l'analisi  $\mu$ XRF per entrambi i lati in modo tale da ottenere le mappe della distribuzione degli elementi sulla superficie del campione. Tale prima fase di analisi è stata fondamentale per localizzare i diversi elementi all'interno del circuito stampato e associarli alle loro funzioni.

È stato osservato che nello strato più superficiale di colore verde del campione, chiamato solder mask, sono presenti silicio, zolfo e bario, mentre l'elemento presente nella serigrafia è il titanio. Nei chip si osserva il silicio e la saldatura che li circonda è a base di stagno e piombo. All'interno del microprocessore e nei contatti del connettore sono stati individuati metalli preziosi come l'argento, l'oro e il palladio. Altro metallo di notevole interesse economico rinvenuto è il rame; esso è da ricondurre ai cinque layers individuati tramite lo stereomicroscopio. Nel campione è inoltre emersa la presenza diffusa di bromo, utilizzato per impedire la propagazione di una combustione accidentale nel circuito elettrico.

Per quanto riguarda i campioni macinati, sono state selezionate due classi granulometriche di dimensione  $0,35\pm 0,50$  mm e  $0,125\pm 0,35$  mm.

L'analisi combinata effettuata allo stereomicroscopio e alla  $\mu$ XRF ha mostrato che la maggior parte delle particelle metalliche risulta ricoperta in tutto, o in parte, da strati di materiale plastico e/o fibra di vetro; tale analisi ha consentito di definire la distribuzione del rame e dell'alluminio nelle particelle e quindi di valutare il loro grado di liberazione. Si è visto innanzitutto che quest'ultimo aumenta al diminuire delle dimensioni delle particelle e che la presenza di particelle non libere è elevata in entrambe le classi.

Sulla base dei risultati ottenuti, quindi, è emersa la necessità di ridurre ulteriormente le dimensioni delle particelle, agendo sui parametri del processo di cominuzione, al fine di migliorare la liberazione dei metalli d'interesse.

Il metodo proposto basato sull'applicazione combinata dello stereomicroscopio e della micro-fluorescenza a raggi X ha consentito l'individuazione e la distribuzione di quei metalli che possono essere interessanti per il recupero e, la valutazione del loro grado di liberazione, è stata fondamentale per la caratterizzazione orientata al riciclo dei circuiti stampati.