

# RIFIUTI ELETTRONICI E MATERIE PRIME: DALLE QUESTIONI AMBIENTALI AI MODELLI DI BUSINESS

Jurate Miliute-Plepiene

Lena Youhanan



Supported by



This activity has received funding from the European Institute of Innovation and Technology (EIT), a body of the European Union, under the Horizon 2020, the EU Framework Programme for Research and Innovation.



Autori: Jurate Miliute-Plepiene e Lena Youhanan,  
IVL Swedish Ambiental Research Institute, Gennaio 2019  
Progetto finanziato da: EIT KIC Raw Materials e SIVL  
Fotografie: Pixabay, salvo diversa indicazione  
N. report: B 2355  
ISBN: 978-91-7883-090-9  
Edizione: disponibile solo in versione PDF per stampa individuale

© IVL Swedish Ambiental Research Institute 2019  
IVL Swedish Ambiental Research Institute Ltd.  
P.O Box 210 60, S-100 31 Stoccolma, Svezia  
Telefono +46-(0)10-7886500 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Questa pubblicazione è stata revisionata ed approvata in conformità ai criteri previsti dal sistema di gestione verificato ed approvato di IVL.

Traduzione dall'inglese a cura di HIT Hub Innovazione Trentino Fondazione (2019)

## PREMESSA

Questo libro nasce dal progetto UE E-Mining@schools, progetto co-finanziato da un consorzio internazionale costituito da EIT Raw Materials in collaborazione con undici partner internazionali. L'obiettivo che il progetto si propone è quello di informare e sensibilizzare gli studenti in merito a quelle che sono le considerazioni ambientali ed etiche relative al tema dei rifiuti elettronici e del loro ciclo di vita ed alle opportunità di business che essi offrono. Le attività didattiche si articolano in una serie di lezioni frontali in aula coadiuvate da contenuti interattivi forniti da una piattaforma digitale.

La pubblicazione si rivolge agli studenti degli istituti secondari ad indirizzo professionale di primo e secondo grado così come alla società civile più in generale. Il libro mette a disposizione dei docenti una serie di materiali didattici dedicati alle tematiche dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) <sup>1</sup> e delle materie prime e del loro ciclo di vita ed alla loro importanza per gli obiettivi della sostenibilità. Il libro presenta ed illustra con approccio divulgativo una serie di concetti quali materiali critici, dell'economia circolare e degli aspetti ambientali e sociali legati ai rifiuti elettronici. Particolare attenzione viene dedicata poi alle tematiche delle materie prime critiche e dell'urban mining.

INFO sul progetto <http://ewaste.education/>

CONTATTI: milena.bigatto@trentinoinnovation.eu

---

<sup>1</sup> Nei documenti legali si utilizzano con frequenza i termini "rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche" (RAEE) e "apparecchiature elettriche ed elettroniche" (AEE); in questa pubblicazione, per motivi di brevità, si useranno, invece, i termini "rifiuti elettronici" e "prodotti elettronici".

# INDICE

PREMESSA	3
1. RIFIUTI ELETTRONICI E MATERIE PRIME	5
1.1. Cosa sono i rifiuti elettronici?	5
1.2. Quali materie prime sono presenti nei rifiuti elettronici?	7
1.3. La criticità di materiali: cosa si definisce critico? Perché? Quando?	8
2. ASPETTI AMBIENTALI DI RIFIUTI ELETTRONICI E MATERIE PRIME	14
2.1. Life-cycle thinking	15
2.2. Attività minerarie	17
2.3. Altri aspetti ambientali	19
3. ASPETTI SOCIALI DEI RIFIUTI ELETTRONICI E DELLE MATERIE PRIME	21
4. COSA POSSIAMO FARE? L'ECONOMIA CIRCOLARE	24
4.1. La gerarchia di gestione dei rifiuti	25
4.2. Quale oggi lo stato della gestione dei rifiuti elettronici?	26
4.3. Panoramica generale del processo di riciclaggio	28
4.4. Vantaggi del riciclaggio dei rifiuti elettronici e dell' <i>urban mining</i>	29
4.5. Le sfide per l'economia circolare	30
4.5.1. Sfide economiche del riciclaggio dei rifiuti elettronici	30
4.5.2. Problematiche ambientali e tecniche	30
5. RUOLI E RESPONSABILITÀ DEI DIVERSI ATTORI	33
5.1. Consumatori	33
5.2. Fabbricanti	34
5.3. Attori pubblici	35
5.4. Responsabilità Estesa del Produttore (EPR)	36
5.4.1. Come funziona la EPR in Svezia	35
5.4.2. Altri paesi	37
6. STRATEGIE DI COMUNICAZIONE PER UNA MIGLIORE GESTIONE CIRCOLARE	39
7. CAMPAGNE DI COMUNICAZIONE DA PARTE DEGLI STUDENTI	40
BIBLIOGRAFIA	41

# 1. RIFIUTI ELETTRONICI E MATERIE PRIME

## 1.1. Cosa sono i rifiuti elettronici?

Le apparecchiature elettriche ed elettroniche (AEE) potrebbero essere definite, in generale, prodotti che per funzionare hanno bisogno di corrente elettrica o campi elettromagnetici, ivi inclusi quelli che generano, trasmettono o misurano correnti elettriche o campi elettromagnetici. Un metodo pratico per riconoscere un prodotto elettronico è quello di capire se il loro normale funzionamento richiede o meno una fonte di alimentazione elettrica o una batteria. Un prodotto elettronico si trasforma in rifiuto di apparecchiature elettriche ed elettroniche (rifiuto elettronico) nel momento in cui il suo proprietario decide di disfarsi dell'intero prodotto o di parti di esso senza l'intenzione di riutilizzarlo. La Direttiva RAEE (2012/19/UE) è la principale normativa elaborata a livello comunitario allo scopo di disciplinare la gestione e, in ultima analisi, contenere la quantità di rifiuti elettronici ed i rischi ambientali e legati alla salute ad essi associati.

I rifiuti elettronici rappresentano un flusso di rifiuti molto complesso nel quale rientra un'ampia gamma di materiali tra cui varie tipologie di materiali plastici e di metalli, alcuni dei quali potrebbero risultare di grande valore o molto pericolosi se non adeguatamente gestiti.

Colloquialmente, i rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche sono comunemente noti come rifiuti

elettronici.<sup>2</sup> Tipici esempi di rifiuti elettronici sono computer, televisori, elettrodomestici per uso domestico, elettrodomestici o telefoni cellulari di cui il possessore decida di disfarsi. Si tratta del flusso di rifiuti a più rapida crescita sia nella UE che a livello globale (Commissione Europea 2018). Per esempio, nel 2016 sono stati all'incirca 44,7 i milioni di tonnellate di rifiuti elettronici generati a livello globale; un dato che si prevede possa raggiungere approssimativamente i 52,2 milioni di tonnellate entro il 2021 (Baldé, Forti et al. 2017).

La Direttiva RAEE (2012/19/UE) ripartisce i rifiuti elettronici nelle seguenti categorie (per maggiori spiegazioni ed esempi, si veda la Tabella 1):

- Apparecchiature di scambio termico;
- Schermi, monitor ed apparecchi contenenti schermi;
- Apparecchi di illuminazione;
- Apparecchi di grandi dimensioni (con almeno una dimensione esterna superiore ai 50 cm);
- Apparecchi di piccole dimensioni (con nessuna dimensione esterna superiore a 50 cm);
- Piccole apparecchiature informatiche e per telecomunicazioni (con nessuna dimensione esterna superiore a 50 cm)



<sup>2</sup> La principale differenza tra apparecchi elettrici ed elettronici è che i circuiti elettrici, a differenza dei circuiti elettronici, non hanno alcuna capacità decisionale (ossia di elaborazione) (<https://brightknowledge.org/engineering/electrical-and-electronic-engineering-what-s-the-difference>).

Categorie di rifiuti elettronici	Esempi
<b>Apparecchiature di scambio termico</b>	Frigoriferi, Congelatori, Apparecchi che distribuiscono automaticamente prodotti freddi, Condizionatori, Deumidificatori, Pompe di calore, Radiatori a olio ed altre apparecchiature di scambio termico funzionanti con fluidi diversi dall'acqua
<b>Schermi, monitor e apparecchi contenenti schermi</b>	Schermi, Televisori, Cornici digitali LCD, Monitor, Laptop, Notebook, Tablet, Lettori di e-book
<b>Apparecchi di illuminazione</b>	Tubi fluorescenti, Lampade fluorescenti compatte, Lampade fluorescenti, Lampade a scarica ad alta intensità, ivi incluse Lampade a vapori di sodio e lampade ad alogenuri metallici, Lampade a vapori di sodio a bassa pressione, Lampade LED.
<b>Apparecchi di grandi dimensioni (con almeno una dimensione esterna superiore ai 50 cm)</b>	Lavatrici, Asciugatrici, Lavastoviglie, Apparecchi di cottura, Stufe elettriche, Piastre riscaldanti elettriche, Apparecchi di illuminazione, Apparecchiature per riprodurre suoni o immagini, Apparecchi musicali (esclusi gli organi a canne installati nelle chiese), Macchine per cucire, Macchine per maglieria, Mainframe di grandi dimensioni, Stampanti di grandi dimensioni, Copiatrici, grandi macchine a gettoni, Grandi dispositivi medici, Grandi strumenti di monitoraggio e controllo, Grandi apparecchi che distribuiscono automaticamente prodotti e denaro, Pannelli fotovoltaici; Elettrodomestici; apparecchiature informatiche e per telecomunicazioni; apparecchiature di consumo; apparecchi di illuminazione; apparecchiature per riprodurre suoni o immagini, apparecchi musicali; strumenti elettrici ed elettronici; giocattoli, apparecchiature per lo sport e per il tempo libero; dispositivi medici; strumenti di monitoraggio e di controllo; distributori automatici; apparecchi per la generazione di correnti elettriche. Questa categoria non comprende gli apparecchi inclusi nelle categorie da 1 a 3.
<b>Apparecchi di piccole dimensioni (con nessuna dimensione esterna superiore a 50 cm)</b>	Aspirapolvere, Scope meccaniche, Macchine per cucire, Apparecchi di illuminazione, Forni a microonde, Ventilatori elettrici, Ferri da stiro, Tostapane, Coltelli elettrici, Bollitori elettrici, Sveglie e Orologi da polso, Rasoi elettrici, Bilance, Apparecchi per la cura dei capelli e del corpo, Apparecchi radio, Macchine fotografiche digitali, Videocamere, Videoregistratori, apparecchi hi-fi, Strumenti musicali, Apparecchiature per riprodurre suoni o immagini, Giocattoli elettrici ed elettronici, Apparecchiature sportive, Computer per ciclismo, immersioni subacquee, corsa, canottaggio, etc., Rivelatori di fumo, Regolatori di calore, Termostati, Piccoli strumenti elettrici ed elettronici, Piccoli dispositivi medici, Piccoli strumenti di monitoraggio e di controllo, Piccoli apparecchi che distribuiscono automaticamente prodotti, Piccoli apparecchi con pannelli fotovoltaici integrati. Elettrodomestici; apparecchiature di consumo; apparecchi di illuminazione; apparecchiature per riprodurre suoni o immagini, apparecchi musicali; strumenti elettrici ed elettronici; giocattoli, apparecchiature per lo sport e per il tempo libero; dispositivi medici; strumenti di monitoraggio e di controllo; distributori automatici; apparecchi per la generazione di correnti elettriche. Questa categoria non comprende gli apparecchi inclusi nelle categorie da 1 a 3 e 6.
<b>Piccoli apparecchi informatici e per telecomunicazioni (con nessuna dimensione esterna superiore a 50 cm)</b>	Telefoni cellulari (smartphone, phablet, etc.), GPS e apparecchi di navigazione, Calcolatrici tascabili, Router, Personal computer, Stampanti, Telefoni.

**Tabella 1.** Categorie ed esempi di rifiuti elettronici nella UE (EWRN 2017)

## 1.2. Quali materie prime sono presenti nei rifiuti elettronici?

I prodotti elettronici contengono numerosi componenti elettronici che, a loro volta, sono prodotti a partire da un'ampia varietà di materie prime in grado di offrire le più diverse e più specifiche proprietà e caratteristiche

elettrofisiche – da quelle isolanti a quelle conduttive. Sono oltre 60 gli elementi della tavola periodica identificabili nei materiali e nei componenti utilizzati in elettronica (Baldé, Forti et al. 2017). Nonostante la maggior parte di essi sia costituita, in peso, da metalli e materiali plastici, i materiali utilizzati in elettronica possono essere raggruppati in 4 grandi categorie.

## 1. Metalli

Sono numerose quanto varie le tipologie di metalli che si possono trovare nei prodotti elettronici. Acciaio e ferro sono i principali ed insieme rappresentano circa il 50% del peso totale dei prodotti. Altri materiali ben noti e altrettanto comuni sono alluminio e rame, utilizzati per la loro elevata conduttività e malleabilità (caratteristiche che ne agevolano la forgiatura e la formatura). Diversi altri metalli come il nickel, il cromo, il piombo, l'argento, l'oro o lo stagno vengono utilizzati all'interno di resistori, condensatori e trasduttori. La maggior parte di questi altri metalli non vengono impiegati che in quantità molto minori.

## 2. Terre rare

Le terre rare (REE) sono un gruppo di 17 elementi della tavola periodica costituito dalla serie dei lantanoidi, dallo scandio e dall'ittrio. I REE vengono, di norma, utilizzati in quantità ridotte o molto ridotte; ciononostante risultano di vitale importanza per numerose applicazioni high-tech, applicazioni come, per esempio, nei magneti permanenti, nelle batterie, nei laser e fosfori (Bristøl 2015).

## 3. Materiali plastici ed altri materiali derivati dal petrolio

I materiali plastici rappresentano il secondo maggiore gruppo di materiali utilizzati per la realizzazione dei prodotti elettronici e costituiscono circa il 20% dei rifiuti elettronici in peso. In elettronica, i materiali plastici trovano impiego principalmente per le loro caratteristiche isolanti e di resistenza alle alte temperature (Cato 2017). Nella UE, sono circa 2,6 i milioni di tonnellate di materiali plastici utilizzate annualmente per la produzione di prodotti elettrici ed elettronici, un dato corrispondente al 5,6 % della domanda totale di materiali plastici nella UE.

## 4. Minerali e materiali non-metallici

Alcuni metalloidi (o semimetalli), come il silicio, trovano impiego anche nella fabbricazione dei prodotti elettronici cui regalano molte delle loro più importanti caratteristiche tecniche. Il silicio ed i suoi derivati rappresentano i principali materiali utilizzati per la realizzazione dei substrati di microchip e semiconduttori. Altri materiali non-metallici o semimetallici sono l'antimonio, il bismuto, il cobalto, la fluorite, il granato, il magnesio e il talco. Altri materiali come quelli ceramici vengono utilizzati anche per le loro caratteristiche isolanti. Frequente è anche l'utilizzo di certe tipologie di argille, vetro, calcio e carbonio (sotto varie forme).

### Sostanze pericolose

Molti prodotti elettronici contengono materiali pericolosi come i metalli pesanti (per esempio mercurio, piombo, cadmio, cromo, etc.) (Baldé, Forti et al. 2017). Si tratta di materiali in grado di determinare rischi per l'ambiente e per la salute umana entrando nelle catene alimentari dell'uomo e negli ecosistemi e dando luogo a bio-accumulo nei tessuti degli esseri viventi. Altre sostanze pericolose sono, per esempio, ritardanti di fiamma bromurati utilizzati nei materiali plastici, i cui effetti risultano analogamente nocivi. I più gravi rischi di esposizione ed effetti nocivi per la salute nascono spesso da un'impropria gestione/un improprio riciclaggio dei rifiuti elettronici che, per esempio, possono andare a ripercuotersi direttamente sugli addetti attivi presso i siti di gestione dei rifiuti o indirettamente sulla società in generale infiltrandosi nel suolo e nelle falde acquifere, danneggiando i microrganismi, turbando gli ecosistemi ed entrando nelle catene alimentari attraverso complessi meccanismi di bio-accumulo. Alcuni esempi di sostanze tossiche e dei loro possibili rischi per la salute sono riportati in Tabella 2.

**Oro** - Circuiti stampati, chip per computer (CPU), connettori/lamelle di contatto

**Argento** - Circuiti stampati, chip per computer, membrane delle tastiere, alcuni condensatori

**Platino** - Dischi rigidi, componenti di circuiti stampati

**Palladio** - Dischi rigidi, componenti di circuiti stampati (condensatori)

**Rame** - Dissipatori di calore per CPU, cavi e cablaggi, circuiti stampati, chip per computer

**Nickel** - Componenti di circuiti stampati

**Tantalio** - Componenti di circuiti stampati (alcuni condensatori)

**Cobalto** - Dischi rigidi

**Alluminio** - Circuiti stampati, chip per computer, dischi rigidi, dissipatori di calore per CPU

**Stagno** - Circuiti stampati, chip per computer

**Zinco** - Circuiti stampati

**Neodimio** - Dischi rigidi (magneti)

**Box 1.** Esempi di metalli e REE utilizzati in diversi apparecchi elettronici.

Elementi pericolosi	Esempi di applicazioni	Effetti
<b>Piombo (Pb)</b>	Utilizzato nel vetro di monitor CRT (sia di TV che di computer), circuiti, saldatura di circuiti stampati, batterie piombo-acido	Effetti cancerogeni (può provocare tumori), neurotossici (può provocare danni al sistema nervoso), reprotossici (effetti tossici sui processi di riproduzione), interferente endocrino, persistente, bioaccumulabile (tende ad accumularsi negli organismi) e tossico. Esplica i suoi effetti più dannosi in-utero e nei bambini.
<b>Mercurio (Hg)</b>	Utilizzato in tubi fluorescenti, monitor a schermo piatto, inclinometri, telefoni cellulari, etc. Secondo alcuni studi, ogni dispositivo elettronico contiene almeno una piccola quantità di Hg.	Effetti cancerogeni, neurotossici, reprotossici, tossina persistente, interferente endocrino, bioaccumulabile. L'esposizione all'Hg risulta estremamente dannosa a livello fetale e nei bambini piccoli.
<b>Cadmio (Cd)</b>	Presente soprattutto nelle batterie Ni-Cd, nei sensori fotoelettrici e nelle leghe resistenti alla corrosione impiegate in ambienti marini e in aviazione. La vendita delle batterie Ni-Cd (salvo quelle mediche) è stata vietata nella UE.	Effetti cancerogeni, repro- e neuro-tossici, mutageni, interferente endocrino.
<b>Ritardanti di fiamma bromurati (BFR)</b>	Utilizzati per ridurre l'infiammabilità dei materiali plastici nella maggior parte dei prodotti elettronici. Tra di essi rientrano bifenili polibromurati (PBBs), polibromodifenileteri (PBDE), i decabromodifenileteri (DecaBDE) e gli ottabromodifenileteri (OctaBDE), etc.	Interferente endocrino, persistente, bioaccumulabile e tossico. Tra gli effetti rientrano deficit nello sviluppo del sistema nervoso, problemi alla tiroide e problemi epatici.

**Tabella 2.** Esempi di materiali pericolosi presenti nei rifiuti elettronici e dei loro effetti nocivi (Chen, Dietrich et al. 2011)

### 1.3. La criticità dei materiali: cosa si definisce critico? Perché? Quando?

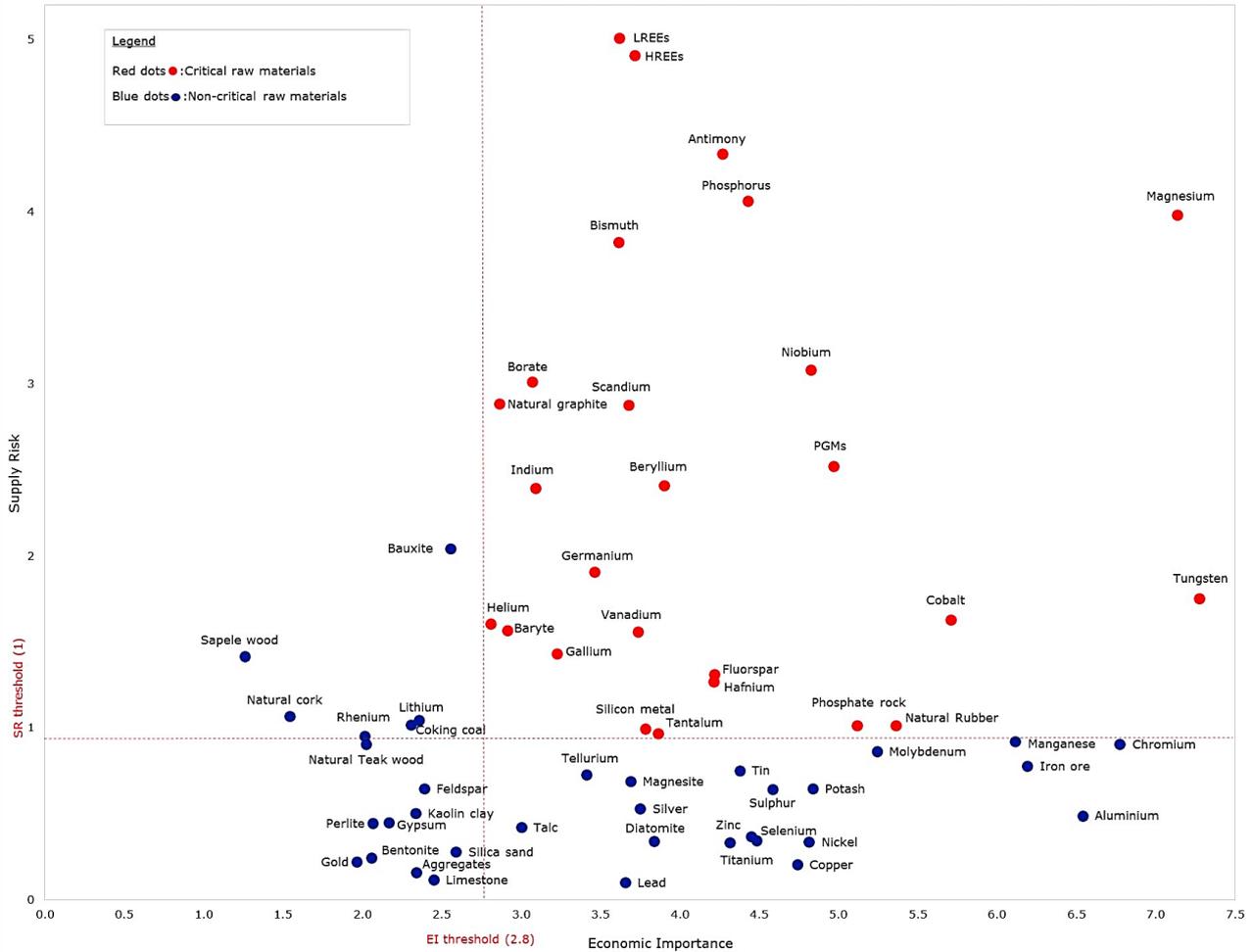
Alcuni dei summenzionati materiali, pur essendo utilizzati in quantità ridotte o risultando addirittura presenti nei rifiuti solo in tracce possono avere comunque una notevole rilevanza ambientale o economica. Alcuni di tali materiali vengono definiti critici a causa del crescente mismatch tra domanda e offerta, dell'elevata volatilità di prezzo o limitazioni nelle forniture dovute a scelte politiche (Bakas, Herczeg et al. 2016). Nel 2011, 2014 ed, infine, nel 2017, la UE ha pubblicato una serie di liste di materie prime definiti "critiche" per la società e per il benessere sociale. Il più recente elenco, pubblicato nel 2017, contiene 27 materiali (Tabella 3) dominati da diversi metalli, ivi incluse terre rare (terre rare leggere (LREE) e terre rare

pesanti (HREE)<sup>3</sup> e metalli del gruppo del platino (PGM).<sup>4</sup> La criticità di tali materiali viene definita sulla base di due criteri principali: la loro importanza per l'economia e gli elevati rischi connessi al loro approvvigionamento (Figura 1).

La nostra economia non è in grado di funzionare appieno senza certi materiali. Il settore biomedico, quello dei trasporti, quello delle energie rinnovabili e quello della difesa (per citarne solo alcuni) fanno affidamento su prodotti, tecnologie ed infrastrutture che richiedono una sempre maggiore varietà di materiali esotici che non risultavano, invece, essenziali in passato. Per esempio, nel XVII secolo, la tecnologia dominante per la produzione di forza motrice era rappresentata dai mulini ad acqua e a vento il cui funzionamento si basava su materiali comuni come calcio, carbone o ferro.

<sup>3</sup> I REEs sono costituiti da un gruppo di 17 elementi chimici noti come lantanoidi suddivisi a loro volta in due categorie a seconda del loro peso atomico: terre rare leggere e terre rare pesanti. Il gruppo delle LREE si compone di 8 elementi: lantanio (La), cerio (Ce), praseodimio (Pr), neodimio (Nd), promezio (Pm), samario (Sm), europio (Eu), gadolinio (Gd); delle HREE fanno parte i restanti lantanoidi (9 elementi) come disprosio, ittrio (Y) e terbio.

<sup>4</sup> PGM – Elementi del gruppo del platino (noti anche come platinoidi, platinidi, metalli del gruppo del platino o elementi della famiglia del platino) sono 6 metalli nobili preziosi che occupano posizioni contigue nella tavola periodica: rutenio (Ru), rodio (Rh), palladio (Pd), osmio (Os), iridio (Ir), e platino (Pt).



**Figura 1.** Elenco delle materie prime critiche (in rosso) nella UE, rischi legati al loro approvvigionamento e loro importanza per l'economia (Commissione Europea 2017)

Con l'avvento della rivoluzione industriale tra il XVII ed il XVIII secolo venne poi gradualmente a crescere la domanda di un sempre maggior numero di altri materiali (Figura 2). Oggi, molti dei materiali che garantiscono funzioni all'avanguardia a diversi nuovi prodotti e soluzioni tecnologiche innovative sono sempre più "esotici". In effetti, la moderna economia non potrebbe affatto sopravvivere senza fare affidamento su una varietà di materiali che racchiude quasi per intero la tavola periodica.

Sono molti i materiali critici utilizzati nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche e nei rispettivi processi produttivi. Benché, di norma, utilizzati in quantità molto esigue, tali prodotti garantiscono ai prodotti elettronici proprietà di grande importanza. Per esempio, la domanda proveniente dal settore dei semiconduttori rappresenta una fetta significativa di quella globale di diversi materiali critici come Antimonio, Berillio, Cobalto, Germanio, Indio,

Antimonio	LREE
Barite	Magnesio
Berillio	Grafite naturale
Bismuto	Gomma naturale
Borato	Niobio
Cobalto	PGM
Carbon coke	Fosforite
Fluorite	Fosforo
Gallio	Scandio
Germanio	Silicio metallico
Afnio	Tantalo
Elio	Tungsteno
HREE	Vanadio
Indio	

**Tabella 3.** Elenco delle materie prime critiche nella UE (Commissione Europea, 2017).

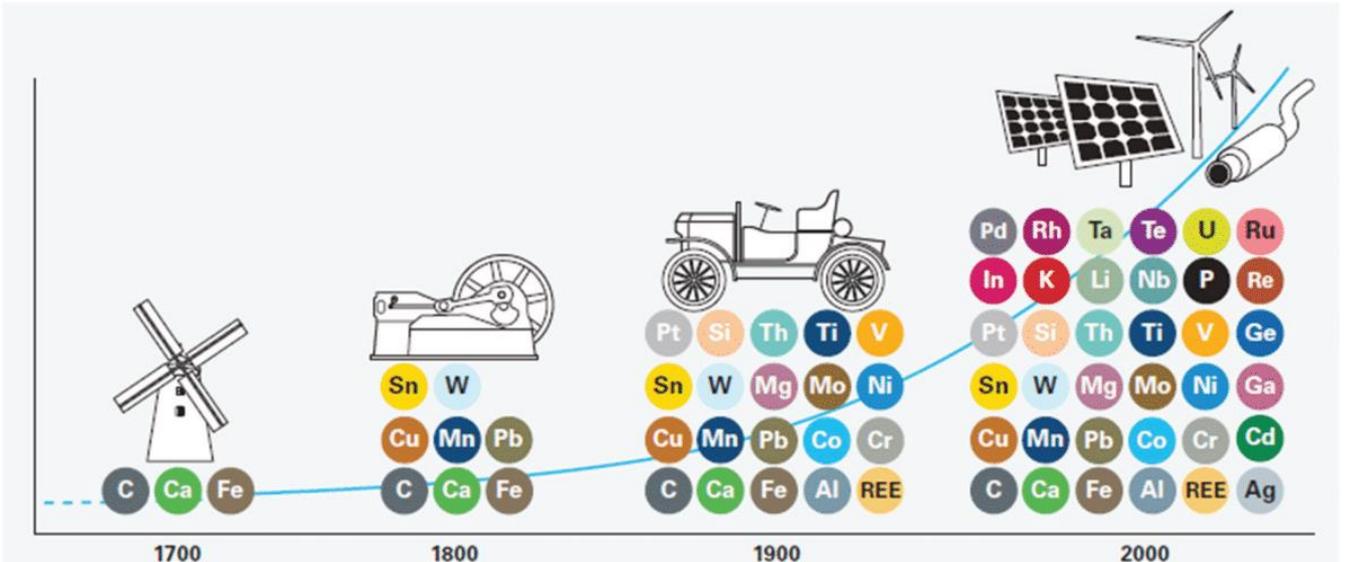


Figura 2. Utilizzo degli elementi nel corso della storia (Zepf, Simmons et al 2014).

PGM, grafite naturale, REE, silicio metallico e Tungsteno (Figura 3).

Un telefono cellulare, per esempio, può contenere fino a 50 diversi tipi di metalli, molti dei quali costituiti da metalli nobili e/o terre rare come Gallio, Indio, Niobio, Tantalio, Tungsteno e Metalli del gruppo del platino. Tutti questi metalli rendono possibile la miniaturizzazione dei semiconduttori, garantiscono al dispositivo un peso ridotto e molte delle sue funzioni "smart". L'indio è materiale indispensabile per la realizzazione dei touch-screen; le terre rare (come per

esempio ittrio, terbio, europio) consentono agli schermi di riprodurre diversi colori; litio e cobalto vengono utilizzati nelle batterie per aumentarne la capacità ed allungarne la vita utile; oro, argento e platino ultra-puri vengono utilizzati nei microchip come interconnessioni nei circuiti mentre diverse terre rare sono in grado di potenziare diverse proprietà dei semiconduttori (Figura 4). Le quantità di tali metalli sono estremamente esigue. Per esempio, il peso medio del contenuto di cobalto di uno smartphone rappresenta circa il 2% del peso totale di quest'ultimo,

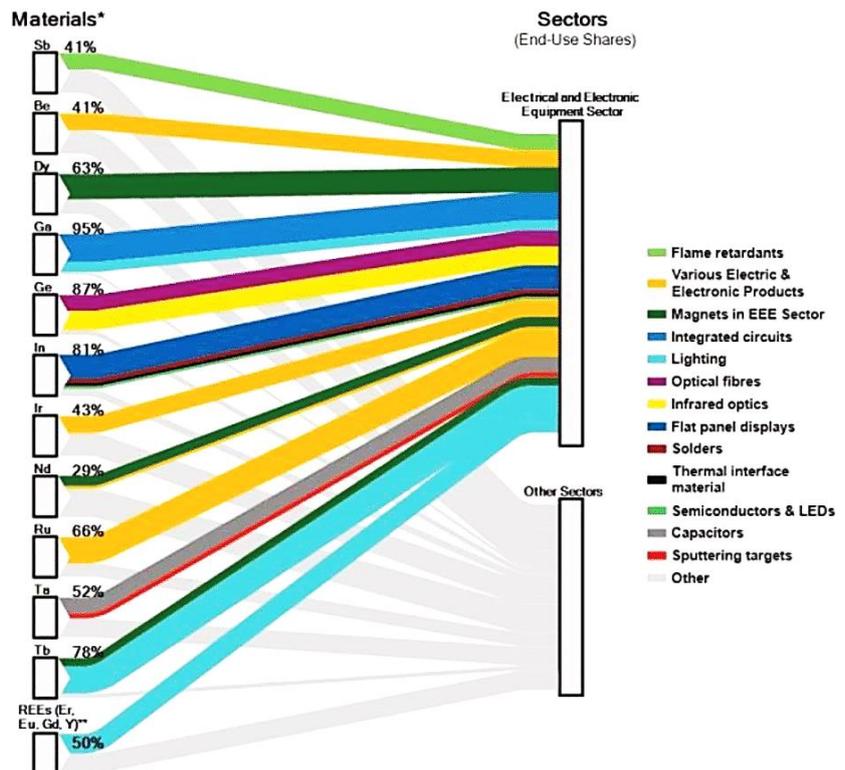
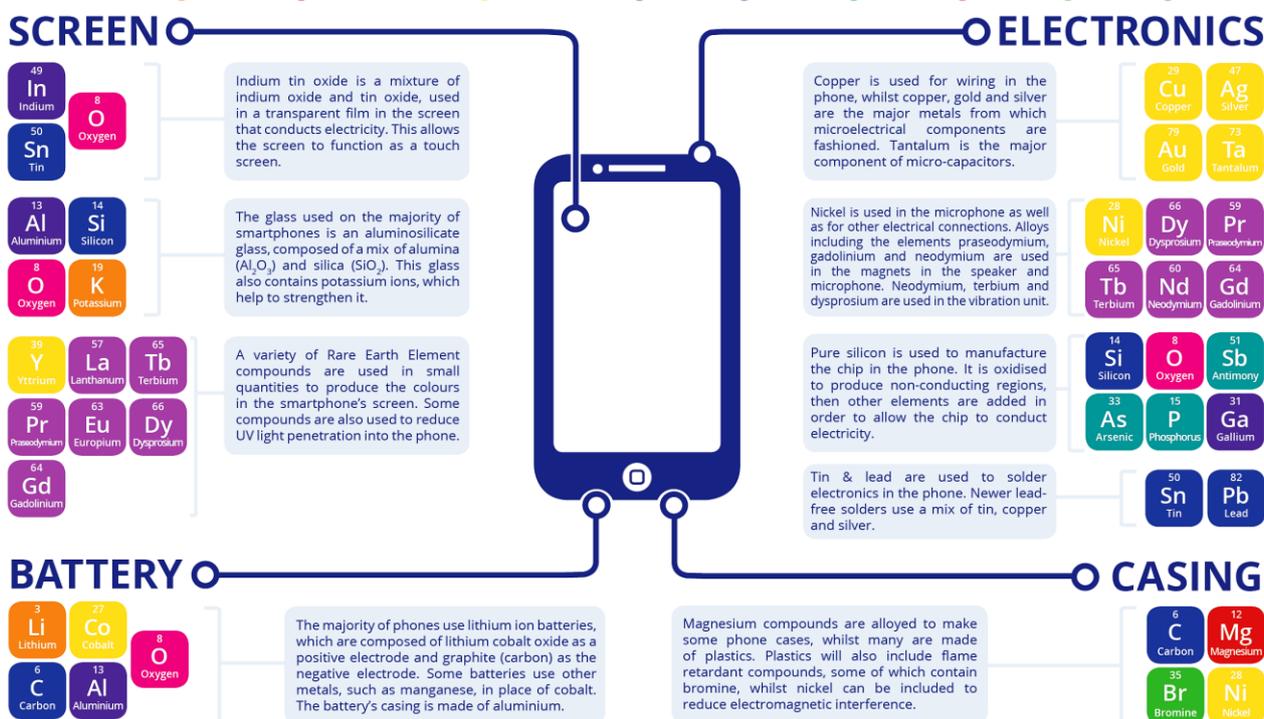


Figura 3. Percentuale di materie critiche utilizzate nel settore elettrico ed elettronico (Mathieux, Ardente et al 2017).

# ELEMENTS OF A SMARTPHONE

ELEMENTS COLOUR KEY: ● ALKALI METAL ● ALKALINE EARTH METAL ● TRANSITION METAL ● GROUP 13 ● GROUP 14 ● GROUP 15 ● GROUP 16 ● HALOGEN ● LANTHANIDE



© COMPOUND INTEREST 2014 - WWW.COMPOUNDCHEM.COM | Twitter: @compoundchem | Facebook: www.facebook.com/compoundchem  
Shared under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives licence.



Figura 4. Esempi dei diversi elementi richiesti per il funzionamento di uno smartphone (Compound Interest 2015).

l'oro – 0,009%, il berillio - 0,001% , il palladio - 0,004% mentre altri materiali sono presenti in quantità addirittura inferiori (Bakas, Herczeg et al. 2016).

Tra gli altri campi di applicazione dei materiali critici vi sono anche le così dette tecnologie future sostenibili, come pannelli solari, pale eoliche, lampade a risparmio energetico (per esempio quelle LED) ed auto elettriche. La domanda di tali tecnologie sta conoscendo una crescita esponenziale così come quella di materiali esotici. Per esempio, le terre rare neodimio (Nd) e praseodimio (Pr) sono richieste per la produzione dei magneti permanenti utilizzati nelle turbine eoliche e nei veicoli elettrici. Si stima che tale domanda possa subire un incremento approssimativo del 250% nell'arco dei prossimi dieci anni. Anche altre terre rare sono richieste per la produzione dei veicoli elettrici (in particolare modo batterie e motori elettrici) - in media 1-2 kg più che nei veicoli convenzionali.

La crescente domanda si riflette nell'evoluzione dei prezzi. Per esempio, il prezzo del neodimio e del praseodimio ha subito un incremento all'incirca del 60% nell'arco di 3 mesi nel 2017, anno in cui i veicoli

elettrici venduti a livello globale sono stati circa 4 milioni. Si prevede che la produzione annua di veicoli elettrici salga a 50 milioni nel 2030. Analoghe tendenze di prezzo sono previste anche per il litio ed il cobalto utilizzati nella produzione delle batterie destinate ai veicoli elettrici (SGU 2018).

Oggi, la crescente domanda di alcuni di tali materiali sta raggiungendo i limiti di approvvigionamento e diversi materiali sono stati etichettati come critici. Per esempio, l'indio è un metallo di per sé scarso. Si è stimato che le risorse comprovate economicamente sostenibili disponibili a livello globale ammontino a 11.000 tonnellate. Agli attuali tassi di consumo, l'indio dovrebbe esaurirsi attorno all'anno 2030 dopodiché i prezzi potrebbero toccare le stelle (Randers, 2012).

Diversi materiali (come, per esempio, i metalli rari)<sup>5</sup> possono non essere necessariamente critici a causa della loro naturale scarsità. La loro criticità può essere determinata anche da altri fattori contestuali come

<sup>5</sup> Il termine 'metalli rari' si riferisce a tutti i metalli speciali tra i quali rientrano terre rare, metalli del gruppo del platino, metalli preziosi ed

altri metalli rari come cobalto, gallio, germanio, indio, niobio, molibdeno, renio, selenio, tantalio e tellurio.

l'inelasticità dei prezzi<sup>6</sup>, una distribuzione geografica disomogenea o limitazioni di accesso legate a scelte politiche (Erdmann e Graedel 2011).

Molti materiali critici vengono estratti e prodotti al di fuori dei confini della UE e alcuni sono forniti da paesi politicamente instabili o che adottano politiche di protezionismo economico. Si vedano la Figura 5, la Figura 7 e la Figura 6 per la distribuzione di importanti materiali critici a livello mondiale.

Per esempio, il 90% delle riserve globali di antimonio (importante per la produzione degli smartphone) si trova in Cina. Inoltre, la Cina estrae più materiali critici di qualsiasi altro paese e detiene pressoché il monopolio nella produzione di alcuni materiali essendo il principale produttore di 18 CRM su 27. Diversi anni fa, la Cina impose restrizioni all'esportazione di alcune terre rare a causa di un incremento della domanda interna e dei danni ambientali provocati dalla loro estrazione. Le restrizioni provocarono importanti turbative di prezzo sul mercato globale delle commodity. Per esempio, il prezzo dell'ossido di

disprosio salì dai 166 USD del 2010 ai quasi 1.000 USD al kg del 2011 (Guardian, 2015).

Altri esempi si possono trovare in Africa. Per esempio, molto del tantalum oggi disponibile viene prodotto in Nigeria, Rwanda o Congo, mentre il cobalto viene prodotto per la maggior parte in Congo. Nel corso degli ultimi 20 anni, questi paesi hanno vissuto cambi di governo ed importanti conflitti politici. I commerci con alcuni di questi paesi possono anche dare vita a polemiche di natura politica a causa del "supporto" indiretto fornito a regimi politici antidemocratici (si veda il capitolo 3).

La criticità di alcuni metalli rari è spesso oggetto di discussione nel quadro di dibattiti politici, economici e scientifici (TING e SEAMAN 2013), il più delle volte in relazione ai rischi che essa pone a livello di sviluppo economico. Con molto minore frequenza si discute invece quella che è la criticità dei materiali a livello ambientale e sociale. L'estrazione di RM dalle risorse naturali si concentra spesso in paesi politicamente instabili con bassissimi livelli di protezione sociale e bassi standard ambientali.

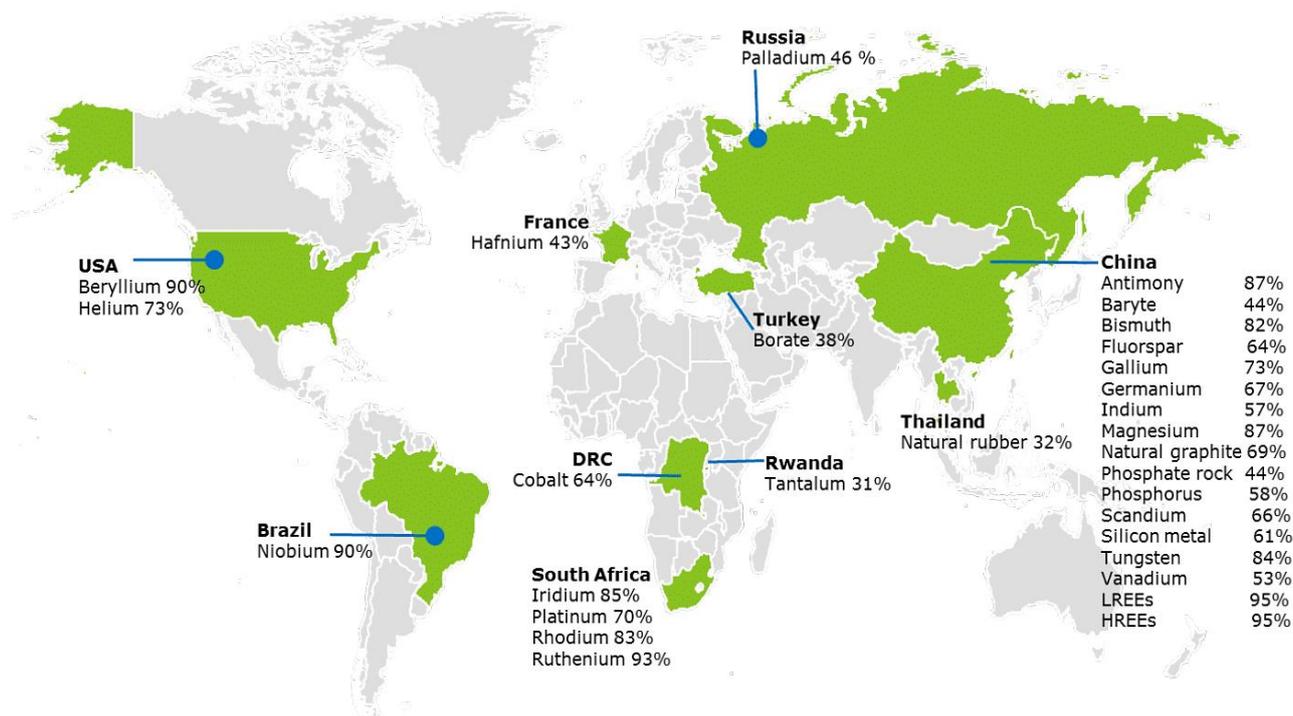


Figura 5. Ripartizione percentuale della provenienza delle materie prime critiche a livello globale (Commissione Europea 2017).

<sup>6</sup> L'inelasticità dei prezzi fa sì che ad un aumento dei prezzi non corrisponda necessariamente anche un aumento della produzione.

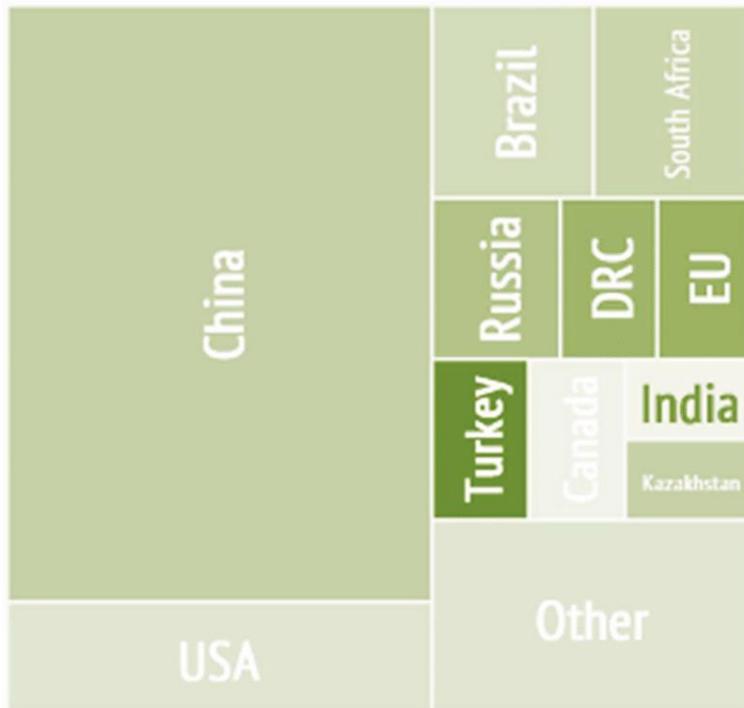


Figura 6. Quota di produzione di materiale critico tra i paesi ((European Commission 2017).

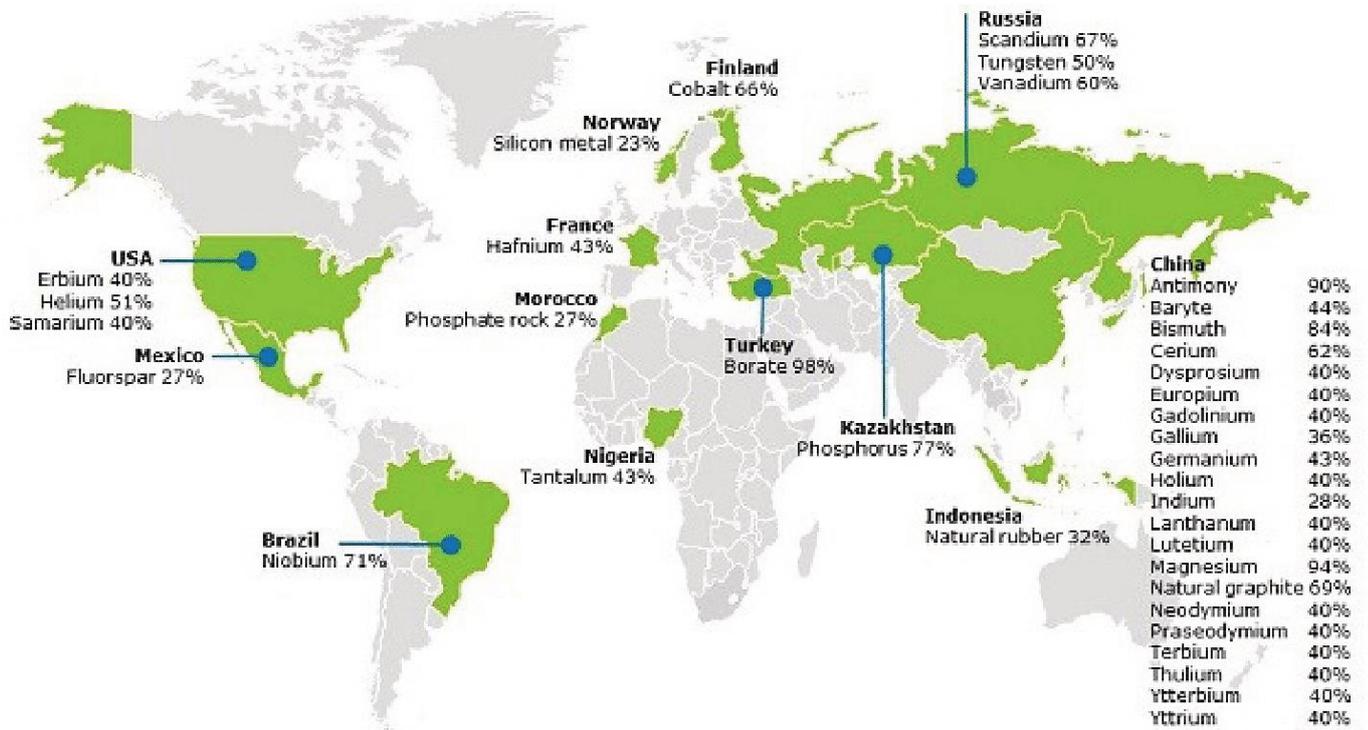


Figura 7. Ripartizione percentuale dei paesi fornitori di materie prime critiche della UE (Commissione Europea 2017).

## 2. ASPETTI AMBIENTALI DI RIFIUTI ELETTRONICI E MATERIE PRIME

Oltre che a questioni di carattere politico ed economico, il settore delle materie prime critiche è interessato anche da numerose problematiche di natura ambientale e sociale. L'estrazione di molte materie prime risulta associata ad elevatissimi consumi energetici e di materie prime e risulta suscettibile di provocare importanti impatti ambientali a livello di inquinamento tossico. Per esempio, l'oro presente nei

Spesso i consumatori non sono in possesso di un'adeguata conoscenza degli impatti ambientali e sociali legati al loro consumo. Il più evidente tra gli aspetti ambientali visibili agli occhi dei consumatori è la quantità di rifiuti prodotti; tuttavia, la loro comprensione degli impatti ambientali derivanti dalla produzione, dall'uso ed anche dalla gestione del fine vita dei prodotti rimane, in ogni caso, piuttosto



Figura 8. Fasi del ciclo di vita di uno smartphone (Modak 2014).

telefoni cellulari, pur costituendo meno dell'1% del peso del dispositivo, rappresenta oltre il 50% del fabbisogno materiale totale (FMT)<sup>7</sup> indotto dalla loro produzione ed il rapporto peso-FMT di altri metalli rari potrebbe risultare addirittura minore (Chancerel 2010). Inoltre, in alcuni paesi in via di sviluppo, all'estrazione di questi materiali risultano spesso associate problematiche come quella del lavoro minorile, degli scarsi livelli di protezione sociale e della prevalenza di condizioni lavorative inique.

superficiale. Lo sviluppo di un "life-cycle thinking", ossia di un modo di pensare che tenga in considerazione le conseguenze economiche, ambientali e sociali di un prodotto, risulta di essenziale importanza nell'orientare le scelte dei consumatori e il processo di gestione del fine vita dei prodotti come quelle di smistamento e riciclaggio.

7 L'FMT è un indicatore che misura i cosiddetti flussi di materiali occulti (ossia lo zaino ecologico) dei quali fanno parte tutti i flussi di

materiali associati ai processi compresi nel ciclo di vita di un prodotto o di un servizio.

## 2.1. Life-cycle thinking

Una corretta valutazione<sup>7</sup> degli impatti ambientali generati da un prodotto nell'arco della sua intera catena del valore, non può prescindere da ciò che è noto come "life-cycle thinking" o "life-cycle approach". Si tratta di un approccio, di un modo di pensare, che tenga sempre in debita considerazione quelli che sono gli aspetti ambientali legati ai diversi stadi del ciclo di vita di un prodotto (o di un servizio), da quello di estrazione delle materie prime a quello di trattamento dei rifiuti (un approccio che tenga ossia conto della vita del prodotto "dalla culla alla tomba").

Per esempio, uno smartphone si compone di una varietà di metalli, materie plastiche, materie ceramiche e materiali presenti soltanto in tracce (Figura 8) ed il suo ciclo di vita inizia proprio con l'estrazione di questi materiali. In questo stadio, la generazione di emissioni atmosferiche, effluenti e rifiuti va a produrre una lunga serie di impatti ambientali. La fase di produzione di uno smartphone richiede l'uso di centinaia di componenti e l'esecuzione di migliaia di processi, ciascuno dei quali esige specifici materiali di input e vettori energetici e

genera rifiuti ed emissioni. La produzione di microchip, schermi e batterie risulta molto dispendiosa a livello di consumi di risorse e genera importanti quantità di rifiuti. Ciò è dovuto al fatto che la produzione dei microchip richiede l'utilizzo di materiali ultra-puri la cui purificazione richiede grandi quantità di energia. Alcuni di questi materiali ultra-puri come gas, acidi e acqua vengono utilizzati in grandissime quantità. Inoltre, la produzione di uno smartphone comporta anche importanti esigenze a livello di trasporti visto che, di norma, i suoi componenti vengono prodotti in diversi paesi. L'uso del prodotto richiede energia sia per la sua ricarica che per il funzionamento dell'infrastruttura internet necessaria per lo storage delle informazioni nel cloud. Ed anche lo stadio di fine vita di un telefono cellulare risulta dispendioso a livello di consumi energetici vista la necessità di raccogliere e smistare i rifiuti elettronici, di trasportarli al centro di riciclaggio, disassemblarli e trattarne i diversi componenti. La comprensione della complessità di una tale catena del valore non può prescindere da un "life-cycle approach" e da un'analisi sistematica.

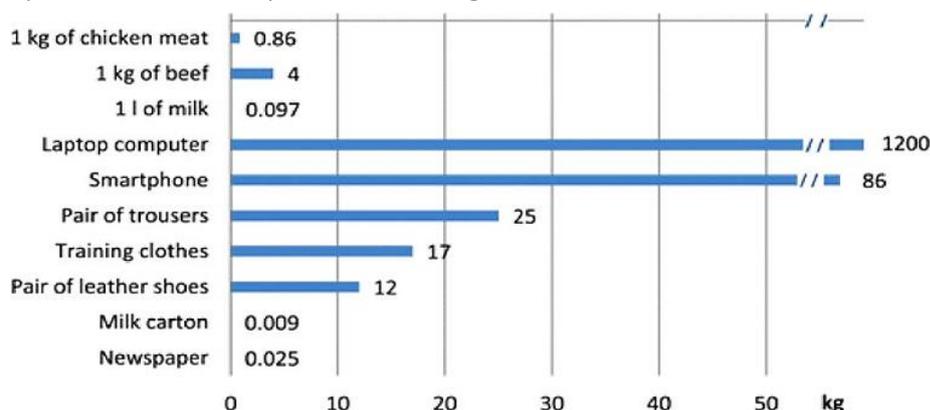


Figura 9. Impronta ecologica dei rifiuti relativi a 10 prodotti di consumo (Laurenti, Moberg et al. 2016).

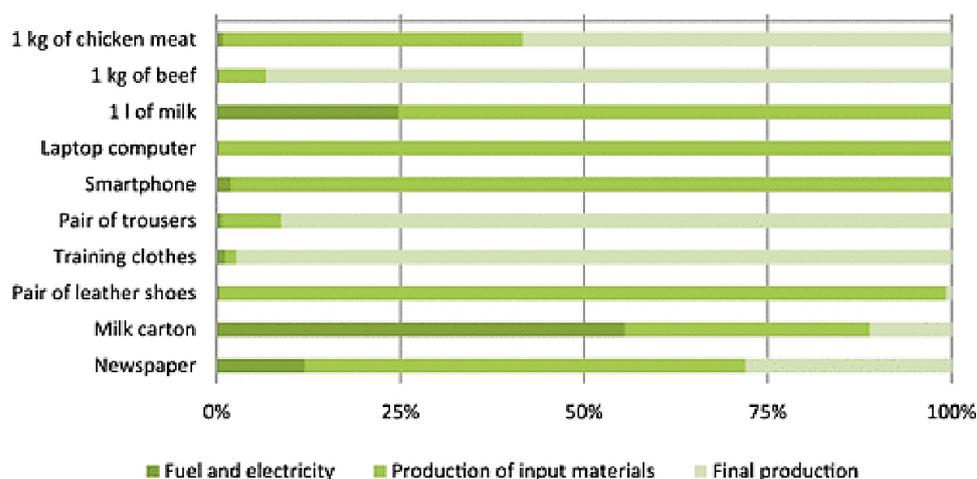
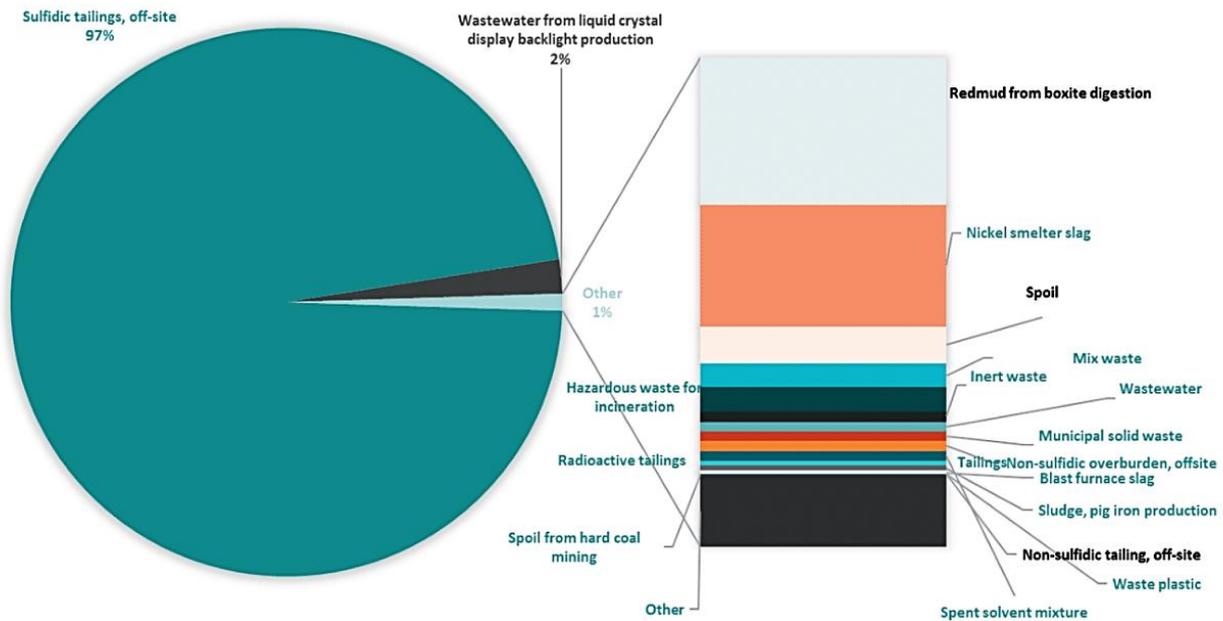


Figura 10. Distribuzione dell'impronta ecologica dei rifiuti tra le diverse fasi di produzione (Laurenti, Moberg et al. 2016).



**Figura 11.** Diverse tipologie di rifiuti generate nella produzione di uno smartphone (Laurenti, Moberg et al. 2016)

Gli impatti ambientali calcolati per i diversi stadi del ciclo di vita di un prodotto o di un servizio possono essere espressi sotto diverse forme a seconda dell'obiettivo di studio. Per esempio, del potenziale impatto sul cambiamento climatico si potrebbe tenere conto calcolando tutte le emissioni suscettibili di dare luogo a riscaldamento globale ed esprimerle sotto forma di unità di misura come, per esempio, la cosiddetta CO2 equivalente. Il "life-cycle approach" potrebbe essere utilizzato anche per calcolare la cosiddetta impronta ecologica o "richiesta umana" nei confronti della natura. Quest'ultima viene espressa in termini di quantità di area bio-produttiva (in ettari) necessaria a fornire le risorse richieste per lo svolgimento di un'attività (per esempio, la produzione di uno smartphone) e sostenere il danno ambientale che essa comporta (per esempio, assorbire tutte le emissioni). L'impronta ecologica può essere espressa anche in altre unità, come impronta idrica, fabbisogno materiale totale e quantità totale di rifiuti.

L'IVL Swedish Environmental Research Institute (IVL) ha redatto uno studio nel quale si è calcolata l'impronta ecologica dei rifiuti relativa a 10 prodotti di consumo.

Dallo studio è emerso che i prodotti elettronici sono quelli, nel gruppo preso in considerazione, a presentare la più elevata impronta in termini di rifiuti. Per esempio, il ciclo di vita di uno smartphone comporta la produzione di 86 kg di rifiuti. Un'impronta ecologica dei rifiuti ancora più alta è quella relativa ai laptop che comportano la produzione di circa 1.200 kg di rifiuti nell'arco del loro ciclo di vita (Figura 9).

La quantità di rifiuti prodotti e le fasi della catena di produzione che generano la più alta quantità di rifiuti possono variare in maniera molto radicale tra diversi gruppi di prodotti (Figura 10). La produzione delle materie prime risulta spesso la fonte di rifiuti più significativa. Per esempio, per quanto riguarda i prodotti elettronici, le principali fonti di rifiuti sono rappresentate dall'estrazione e dall'arricchimento dei metalli. Circa il 97% di tutti i rifiuti prodotti nell'arco del ciclo di vita di uno smartphone si viene a creare nel corso della fase di produzione delle materie prime utilizzate per la sua realizzazione; e questo dato risulta ancora più alto quando si parla di laptop (Figura 11).



Figura 12. Rocce e minerali. (Fotografie di Philip Peck)

## 2.2. Attività minerarie

Le attività minerarie e di estrazione delle materie prime rappresentano una delle più importanti fonti di problemi per l'ambiente e per la salute umana associate al ciclo di vita dei prodotti elettronici. Ciò è dovuto principalmente alla vasta scala di tali attività, alla loro prossimità all'ambiente ed alle difficoltà tecniche e politiche esistenti nella loro disciplina e nel contenimento degli impatti negativi ad esse legati.

La maggior parte di tali problemi nasce dai rifiuti di estrazione e dai co-prodotti che li accompagnano, di norma associati all'estrazione dei metalli utilizzati nei prodotti elettronici. Benché di alcuni dei metalli utilizzati nell'industria elettronica risultino necessarie soltanto quantità estremamente esigue (nell'ordine di microgrammi all'interno di uno smart phone), la loro estrazione può comportare un'importante intensità energetica, un significativo uso di sostanze chimiche e la produzione di notevoli quantità di rifiuti. Per esempio, l'estrazione di 1 kg di rame grezzo va a generare 310 kg di rifiuti di estrazione, mentre l'estrazione di 1 g d'oro genera da 1 a 5 tonnellate di rifiuti di estrazione. Inoltre, da 1 a 4 tonnellate di rifiuti possono venire a generarsi nel corso dei processi di lavorazione necessari a renderlo idoneo alle applicazioni richieste nell'industria elettronica.

L'estrazione delle terre rare avviene, di norma, sotto forma di sotto-prodotti dei metalli primari.

Per esempio, il cobalto (Co) viene estratto sotto forma di cobaltite ( $\text{CoAsS}$ ), un sotto-prodotto dell'estrazione e dell'arricchimento del rame o del nickel. Il bismuto (Bi) è un sotto-prodotto dell'estrazione del piombo, del rame, dello stagno, del molibdeno e del tungsteno. Solo pochissime terre rare (principalmente metalli del gruppo del platino) vengono estratte in quanto tali come materiali primari.

Benché alcuni dei rifiuti di estrazione possano risultare di per sé piuttosto inerti e non dare luogo a importanti problemi ambientali, molti di essi sono, tuttavia, radioattivi o comunque suscettibili di rilasciare sostanze pericolose tra cui metalli pesanti come mercurio, arsenico, piombo, zinco e cadmio. Il rilascio di sostanze pericolose da parte dei rifiuti di estrazione viene spesso accelerato dagli agenti chimici utilizzati per l'estrazione e la raffinazione dei materiali target. Alcune tecnologie estrattive come, per esempio, la cosiddetta "estrazione in sotterraneo" prevede la polverizzazione del minerale roccioso in particelle minuscole ed il suo trattamento

L'estrazione di 1 kg di rame grezzo genera 310 kg di rifiuti di estrazione mentre l'estrazione di 1 g d'oro genera 1-5 tonnellate di rifiuti di estrazione



**Figura 13.** La miniera di Bor in Serbia è una delle più grandi miniere di rame d'Europa ed è nota da oltre un secolo come uno dei principali "hotspot" ambientali del paese. (Fotografia: Philip Peck)

chimico<sup>8</sup> per ottenere il materiale target. Le parti di minerale residue dall'estrazione dei minerali target sono note come tailing ("sterili") o scorie di miniera e si presentano, di norma, sotto forma di slurry ("fanghiglia") contenente una miscela di fini di miniera, acqua e agenti chimici. Il rapporto tailing/minerale grezzo può risultare compreso tra il 90 e il 98% (per il rame) o tra il 20-50 % per i minerali di minor valore.

Inoltre, la frantumazione delle rocce estratte determina spesso il rilascio di elementi radioattivi, minerali simil-asbestici e di particelle di polveri metalliche. Per tale ragione, i tailing contengono spesso parte di materiali tossici e radioattivi suscettibili di diffondersi nell'ambiente in difetto di un'adeguata gestione (MIT 2016).

L'estrazione di materie prime comporta significativi consumi energetici e di sostanze chimiche che, a loro volta, possono essere causa di emissioni atmosferiche ed inquinamento del suolo e delle falde acquifere (Tabella 4). Uno dei più gravi rischi per l'ambiente derivante dalla gestione dei tailing è quello riguardante l'eventuale crollo di dighe di contenimento con il conseguente rilascio di slurry altamente acide contenenti sostanze tossiche. Un ben noto esempio di disastro ambientale dovuto al cedimento di una diga di sterili è quello verificatosi presso la miniera di Ok Tedi in Papua Nuova Guinea, attiva tra il

1984 e il 2013. Il cedimento della diga provocò il rilascio in diversi corsi d'acqua di 2 miliardi di tonnellate di

### Impatti dell'estrazione aurifera

Nell'estrazione dell'oro con tecnologia in sotterraneo, il minerale grezzo viene dapprima frantumato, versato all'interno di apposite fosse ed irrorato con una soluzione di cianuro che penetra all'interno del cumulo di minerale grezzo legandosi con l'oro. La soluzione di oro e cianuro che ne deriva si va, quindi, a raccogliere alla base del cumulo da dove viene, poi, pompata verso una vasca al cui interno oro e cianuro vengono separati chimicamente.

La miscela di materiali ricchi di cianuro viene, quindi, convogliata e conservata all'interno di laghetti artificiali per essere riutilizzata. Il processo di lisciviazione ha la durata di alcuni mesi, dopodiché sul fronte di taglio si va a scoprire un nuovo strato di minerale grezzo. Vista la portata e la durata di tali operazioni (di norma decenni), la contaminazione dell'ambiente circostante da parte del cianuro risulta quasi inevitabile. Nel settore si è provato a sostituire il cianuro con il mercurio, ma anche quest'ultimo risulta comunque tossico.

Ambo le sostanze risultano estremamente pericolose, anche in concentrazioni ridotte e possono essere causa di vari problemi di salute. Se non adeguatamente gestiti, i metalli pesanti finiscono di norma per farsi strada negli ecosistemi ed, infine, nelle catene alimentari dell'uomo dando luogo a gravi sintomi di avvelenamento tossico, ivi incluso l'insorgere di danni a carico di funzioni polmonari e neurologiche, allo sviluppo embrionale e molti altri effetti.

<sup>8</sup> Il minerale grezzo è costituito da sedimento roccioso contenente una sufficiente quantità di elemento (di norma metalli).

Rischio	Ambiente interessato	Composti tossici
Tracimazione di <i>tailing</i> o danneggiamento della diga (a causa di cattiva costruzione, tracimazione o eventi sismici)	Acque freatiche, acque di superficie, suolo	<b>Emissioni in acqua:</b> Perlopiù radionuclidi come torio e uranio Metalli pesanti Acidi Fluoruri
Perdite da tubazioni	Acque freatiche, acque di superficie, suolo	
Mancata impermeabilizzazione del fondo della vasca di decantazione degli sterili	Acque freatiche	
Cumuli di roccia sterile esposti alle acque meteoriche	Acque freatiche, acque di superficie, suolo	
Polveri di roccia sterile e sterili	Atmosfera e suolo	<b>Emissioni atmosferiche:</b> Perlopiù radionuclidi come torio e uranio Metalli pesanti HF, HCL, SO <sub>2</sub> , etc.
Mancato risanamento del sito dopo la cessazione delle attività estrattive	Atmosfera e suolo	
Lavorazione senza filtri fumi	Atmosfera e suolo	
Lavorazione senza trattamento delle acque reflue	Acque di superficie	

**Tabella 4.** Rischi ambientali associati all'estrazione mineraria delle materie prime (MIT 2016).

rifiuti di estrazione non trattati inquinati da metalli pesanti con il conseguente inquinamento tossico di un bacino idrografico di oltre 1.500 km<sup>2</sup>, 3.000 km<sup>2</sup> di foreste e circa 1.300 km<sup>2</sup> di terreni agricoli. Gli esperti hanno stimato che ci vorranno più di 300 anni per bonificare completamente la contaminazione provocata dall'incidente. Un'altra importante fonte di impatto ambientale derivante dalle attività minerarie è la loro elevata intensità energetica. Come avviene anche per altre industrie pesanti, l'industria mineraria risulta fortemente dipendente da combustibili fossili come petrolio, gas e carbone e produce, quindi, grandi quantità di emissioni di CO<sub>2</sub>.

Inoltre, le attività minerarie sono anche spesso causa di un'irreparabile erosione del suolo su larga scala i cui danni possono perdurare per anni e anni dopo la chiusura di una miniera andando, per esempio, ad alterare i naturali cicli biologici ed il flusso di nutrienti, a distruggere gli habitat naturali di specie native e a ridurre la bio-produttività degli ecosistemi locali. Le attività minerarie richiedono, inoltre, grandi quantità di acqua dolce generando, quindi, elevati volumi di acque reflue spesso contaminate da metalli pesanti e altri materiali tossici. Inoltre, se non adeguatamente gestite, le attività minerarie possono andar facilmente a contaminare le riserve di acqua dolce (MIT 2016).

Tali problemi sono spesso resi ancor più gravi dal fatto che molte attività estrattive hanno luogo in paesi con bassi standard ambientali o dove la vigilanza e l'applicazione delle norme in materia di ambiente non sono propriamente rigorosi. Talvolta, alcune attività estrattive sono addirittura illegali e svolte in maniera completamente priva di controllo. Per esempio, secondo alcune stime, dalla Cina vengono estratte ed esportate illegalmente circa 20.000 tonnellate di REE.

Nelle miniere illegali non si adottano, di norma, precauzioni ambientali o si effettua alcun tipo di trattamento dei rifiuti, il che espone la salute degli addetti e l'ambiente circostante a gravissimi rischi (MIT 2016).

### 2.3. Altri aspetti ambientali

#### Produzione ad alta intensità energetica

Accanto a quella di estrazione delle materie prime, anche altre fasi produttive del ciclo di vita dei prodotti elettronici presentano una significativa intensità ambientale. La produzione di numerosi componenti elettronici (in particolar modo semiconduttori e microchip) risulta caratterizzata da un'elevata intensità materiale ed energetica. Ciò è dovuto principalmente al fatto che tanto i componenti quanto gli altri materiali utilizzati devono risultare puri e privi di qualsiasi contaminazione di altri materiali.

La produzione di semiconduttori e microchip richiede, inoltre, anche ambienti puliti, il che comporta, a sua volta, elevati consumi energetici. Per esempio, la produzione di uno smartphone Sony Xperia™ ed il suo utilizzo, per l'intera vita utile, in condizioni svedesi (ossia elettricità e mix energetico svedese) genera circa 45 kg di CO<sub>2</sub>-equivalenti, ossia quanto percorrendo circa 300 km con un'autovettura europea media (Ercan 2013).

Gran parte delle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalenti risultano associate alla produzione dei circuiti integrati destinati al telefono. La produzione in altri paesi con vettori combustibili fossili più dominanti andrebbe a generare intensità di CO<sub>2</sub> molto più elevate.

Rifiuti di componenti elettronici	Processo utilizzato	Potenziale pericolo per l'ambiente
Tubi catodici (utilizzati in TV, monitor di computer, ATM, videocamere ed altro)	Rottura e rimozione della bobina di deflessione seguite da conferimento in discarica	Rilascio di piombo, bario e altri metalli pesanti nelle acque freatiche e rilascio di fosforo tossico
Circuiti stampati	Dissaldatura e rimozione dei chip per computer; incenerimento all'aria aperta e bagni acidi per la rimozione dei metalli dopo quella dei chip	Emissioni atmosferiche e rilascio nei corsi d'acqua di polveri di vetro, stagno, piombo, diossine bromurate, berillio, cadmio e mercurio
Chip ed altri componenti placcati oro	Sverniciatura chimica con acido nitrico e idrocloridrico ed incenerimento dei chip	Rilascio di idrocarburi policiclici aromatici (PAHs), metalli pesanti, ritardanti di fiamma bromurati direttamente nei corsi d'acqua con conseguente acidificazione della fauna ittica e della flora. Contaminazione delle acque freatiche e di superficie con stagno e piombo. Emissioni atmosferiche di diossine
Materiali plastici provenienti da stampanti, tastiere, monitor, etc.	Sminuzzamento e fusione a bassa temperatura per il riutilizzo	Emissioni di diossine bromurate, metalli pesanti e idrocarburi
Cavi di computer	Incenerimento all'aria aperta e spelatura per rimozione del rame	Rilascio di PAH nell'atmosfera, nelle acque e nel suolo.

**Tabella 5.** Esempi di pratiche illegali di riciclaggio di rifiuti elettronici in India e dei rischi ambientali che comportano (Wath, Dutt et al. 2011).

Per esempio, includendo il mix elettrico globale e tutti gli accessori, il rilascio totale di CO<sub>2</sub> salirebbe a 117 kg di CO<sub>2</sub> per il periodo di 3 anni del ciclo di vita del telefono (Ercan 2013).

#### Smaltimento improprio dei rifiuti elettronici

Nei rifiuti elettronici sono presenti una serie di materiali preziosi e di altri materiali di valore che li rendono appetibili per le società di riciclaggio. Purtroppo, l'acquisizione di tali materiali risulta piuttosto impegnativa a livello di manodopera rendendo, quindi, l'operazione spesso poco logica in paesi con un elevato costo del lavoro. Per tale motivo, i rifiuti elettronici sono spesso oggetto di trasporti illegali dai paesi

sviluppati a quelli in via di sviluppo ai fini del loro riciclaggio. Una volta giunti a destinazione, i rifiuti elettronici vengono spesso smantellati e semi-riciclati illegalmente utilizzando soluzioni "low-tech" ed adottando protezioni inadeguate, o non adottando addirittura alcuna protezione, contro i rischi per la salute e di inquinamento ambientale che ciò comporta. Alcune delle più comuni pratiche illegali e dei rischi ad esse associati sono illustrate in Tabella 5. Sono numerosi i materiali pericolosi o tossici di cui si ha il rilascio durante tali operazioni illegali di smontaggio o riciclaggio che inevitabilmente si fanno strada nelle catene alimentari facendo sorgere gravi rischi per la salute umana.

### 3. ASPETTI SOCIALI DEI RIFIUTI ELETTRONICI E DELLE MATERIE PRIME

Accanto alle questioni di carattere più squisitamente ambientale associate al ciclo di vita di materiali critici e rifiuti elettronici, sono numerose anche le problematiche di natura sociale che ad essi si legano, in particolar modo quelle riguardanti l'estrazione delle materie prime e le spedizioni illegali di rifiuti elettronici ed il loro riciclaggio improprio.

L'estrazione degli speciali materiali utilizzati nei prodotti elettronici avviene in regioni politicamente instabili e paesi economicamente sottosviluppati, spesso teatro di conflitti, con sistemi regolatori deboli, strutture di governance inefficaci e mezzi tecnologici inadeguati a garantire l'estrazione sostenibile delle risorse naturali (MIT 2016). I governi locali, concedendo i diritti di sfruttamento minerario a compagnie minerarie commerciali (di norma straniere), mettono spesso in secondo piano più lungimiranti visioni sostenibili a lungo termine nel nome del profitto a breve termine. I concessionari impegnati nello sfruttamento delle risorse naturali, guidati principalmente dalla ricerca del profitto, giovano, traendone vantaggio, di normative inefficaci e meccanismi di controllo deboli che fanno sentire le loro ripercussioni, tanto sull'ambiente quanto sulle comunità locali, optando spesso per l'adozione di procedure di sicurezza sul lavoro scarsamente rigorose

e trascurando gli standard di tutela dell'ambiente. L'assenza di normative efficaci e spesso anche quella dei sindacati si traducono in condizioni lavorative inique e nello sfruttamento della forza lavoro. Pertanto, nonostante la ricchezza di risorse naturali, alla popolazione di alcuni paesi non è spesso concesso di raccogliere i potenziali benefici economici e sociali derivanti dal loro sfruttamento (si vedano gli esempi nei Box 3 e 4).

Le questioni sociali ed ambientali associate all'estrazione delle terre rare in paesi in via di sviluppo sono molto complesse e rappresentano un problema di portata non soltanto locale. Esse vanno, infatti, ad influenzare indirettamente anche i mercati globali in termini di prezzi dei materiali e di futura disponibilità di risorse.

L'esercizio di attività minerarie tecnologicamente arretrate ed inquinanti risulta inefficace anche a livello economico. L'estrazione di minerali con scarsa resa va a depauperare le risorse disponibili, mettendo a rischio, alla luce della crescente domanda e del numero limitato di nuovi giacimenti, la sicurezza di approvvigionamento sul lungo termine e traducendosi talora in una significativa inflazione dei prezzi. Anche la cattiva gestione degli stabilimenti lascia costose "impronte economiche". Per esempio, dopo l'arresto



**Figura 14.** In Congo, l'estrazione di columbite-tantalite viene spesso controllata da gruppi armati ed eseguita con tecnologie primitive (Fonte: Harneis 2007).

del proprio impianto in Malaysia nel 1994, la Mitsubishi Corporation ha speso fino ad oggi 100 milioni di dollari per l'esecuzione di bonifiche ambientali (Long J.T., 2012) mentre l'economia di Bukit Merah potrebbe impiegare decine e decine di anni per riprendersi del tutto (MIT 2016).

Tuttavia, i costi umani di una cattiva gestione ambientale risultano molto più difficili da quantificare in termini monetari. Nel caso della miniera Mitsubishi in Malaysia, le autorità sanitarie locali hanno riferito almeno 11 decessi, dovuti a setticemia, leucemia o tumore al cervello, legati all'inquinamento da rifiuti radioattivi venutosi a produrre a partire dal 1994, e centinaia di abitanti del posto si sono ammalati o sono stati vittima di malformazioni congenite (Jegathesan 2012). Nel caso del Congo, l'estrazione di REE va spesso a portare denaro direttamente nelle tasche di milizie brutali alimentando uno dei conflitti più sanguinosi e devastanti verificatisi dalla Seconda Guerra Mondiale ad oggi. Nel 2007, quando è stata fatta l'ultima seria valutazione, la guerra civile del Congo aveva già provocato 5,4 milioni di vittime e 45.000 persone continuavano a morire ogni mese a causa del conflitto in corso (2010). Nonostante l'estrazione della columbite-tantalite possa finanziare solo parte delle attività belliche, non se ne dovrebbe, in ogni caso, sottovalutare il ruolo (MIT 2016). Anche un'altra grave problematica sociale risulta legata a quella dei rifiuti elettronici. Il rapido sviluppo tecnologico e la caduta dei prezzi dei componenti elettronici si traducono in un crescente consumo di prodotti elettronici ed un conseguente incremento dei volumi di rifiuti elettronici a livello globale. Avendo, comunque, i prodotti elettronici di scarto ancora un certo valore economico in termini di riusabilità o di materiali di valore in essi contenuti, avviene che grandi volumi di essi vengano spediti dai paesi più ricchi del mondo a paesi in via di sviluppo in Asia e Africa ai fini del loro riuso ovvero della loro lavorazione e del loro riciclaggio. Gran parte di tali spedizioni è, tuttavia, illegale. Tra le iniziative e le normative adottate a tale riguardo a livello internazionale c'è la Convenzione di Basilea<sup>9</sup> lanciata nel 1992 allo scopo di regolamentare i movimenti transfrontalieri di rifiuti di materiali pericolosi. Tuttavia, tanto quest'ultima quanto le altre iniziative rimangono inefficaci. Per esempio, si stima che ogni anno circa 2 milioni di tonnellate di rifiuti elettronici lascino illegalmente l'Europa. Secondo alcuni studi, l'Asia rappresenta la principale destinazione dei rifiuti elettronici provenienti da Europa e Nord America. Circa il 90% di tali esportazioni (ovvero 8 milioni di tonnellate ogni anno) raggiunge la Cina (si vedano il Box 5 e Figura

La Repubblica Democratica del Congo (DRC) esemplifica alla perfezione le problematiche sociali spesso legate all'estrazione di materiali critici per il settore dell'elettronica. La columbite-tantalite è un minerale metallico costituito da una miscela di minerali contenenti due elementi critici – niobio e tantalio - che risultano di fondamentale importanza per la produzione di determinati prodotti elettronici e dei loro componenti (per esempio le batterie). La DRC possiede all'incirca la metà delle riserve di columbite-tantalite note a livello mondiale. Allo stesso tempo, la DRC è anche una delle regioni politicamente più instabili del mondo, perennemente alle prese con numerose gravi difficoltà economiche da cui nascono infrastrutture industriali sottosviluppate, bassi livelli di investimenti esteri e strutture di governance inefficienti. La columbite-tantalite presente nelle miniere congolese viene perlopiù estratta adottando tecnologie primitive ad alta intensità di manodopera frantumando manualmente il materiale roccioso o setacciando il letto dei fiumi come avveniva in America nel periodo della "febbre dell'oro". Se alcuni studi suggeriscono che i minatori possano guadagnare oltre \$50 la settimana (ossia fino a 20 volte quello che è il reddito giornaliero medio nel paese), la forza lavoro risulta, tuttavia, oggetto di sfruttamento da parte di vari gruppi armati. Secondo le testimonianze, questi gruppi ricorrono spesso alla violenza compiendo atti di terrorismo, stupri ed omicidi per controllare l'accesso alle attività minerarie e soggiogare gli operai. Sono numerosi i siti minerari presso i quali si sono segnalati casi di sfruttamento illegale dei lavoratori costretti a lavorare in pessime condizioni e di lavoro minorile. Lo svolgimento di attività minerarie prive di qualsiasi controllo o regolamentazione si traduce in gravissimi danni ambientali come erosione del suolo, inquinamento delle falde acquifere e distruzione degli habitat naturali, con gravi conseguenze anche per specie a rischio di estinzione. A livello internazionale, si sono registrate una serie di iniziative volte a trovare una risposta a tali problematiche, ivi incluso il boicottaggio di alcune risorse minerarie provenienti dalla DRC allo scopo di ridurre i flussi di denaro destinati ad attività illegali e gruppi armati. Tuttavia, gli effetti di tali iniziative si sono rivelati inefficaci o tardano, comunque, a manifestarsi visto che le organizzazioni illegali continuano, in ogni caso, a trovare il modo di esportare fraudolentemente tali risorse minerarie attraverso paesi limitrofi come l'Uganda, il Burundi e il Rwanda.

<sup>9</sup> La Convenzione di Basilea sul controllo dei movimenti transfrontalieri di rifiuti pericolosi e del loro smaltimento è un trattato internazionale emanato allo scopo di ridurre i movimenti di rifiuti pericolosi tra le nazioni, nello specifico per impedire l'esportazione di rifiuti pericolosi dai paesi sviluppati a quelli meno

sviluppati. Nonostante il trattato sia stato sottoscritto da molti stati, alcuni paesi (come, per esempio, gli Stati Uniti) non lo hanno ratificato. Si veda: <http://www.basel.int>.



**Figura 15.** Nei paesi in via di sviluppo i bambini sono i più vulnerabili agli effetti nocivi degli agenti chimici contenuti nei rifiuti elettronici importati dai paesi occidentali (Fonte: Flickr 2009).

15) nonostante quest'ultima abbia di fatto bandito le importazioni di rifiuti elettronici a partire dal 2000.

Una delle questioni più annose è quello che nasce dal fatto che i rifiuti di prodotti elettronici vengano spesso classificati come "riusabili" pur non risultando, in effetti, più funzionanti, ed essendo lo scopo principale della loro spedizione quello di evitare gli elevati costi di trattamento e gestione nei paesi di origine. Nei paesi di destinazione, i rifiuti elettronici vengono spesso rilavorati e riciclati in modo illegale e spesso improprio adottando approcci "low-tech" che non consentono di estrarre che ridotte quantità di materiali e pratiche spesso pericolose. Per esempio, lo smantellamento dei prodotti e l'estrazione dei metalli comportano l'incenerimento di cavi ed operazioni di lisciviazione acida volte principalmente al recupero di materiali di valore come oro, argento, rame o altri metalli di uso comune. Ciò si traduce nel rilascio in atmosfera e nell'ambiente di elementi pericolosi (come metalli pesanti, diossine e altre tossine) in grado di arrecare danno alla salute umana e all'ambiente. In molti casi, le operazioni di recupero si avvalgono di manodopera

La città di Guiyu in Cina con i suoi 5.000 laboratori ed i suoi oltre 100.000 addetti "informali" è assunta al ruolo di più grande sito di smaltimento di rifiuti elettronici al mondo. Qui, ogni giorno si riciclano circa 15.000 tonnellate di rifiuti elettronici coinvolgendo nelle attività oltre l'80% della forza lavoro locale. Il tutto in condizioni lavorative notoriamente prive di qualsiasi tutela comportanti altissimi livelli di esposizione alla diossina ed un elevatissimo tasso di avvelenamenti da metalli pesanti e tassi di aborto estremi. Si è anche scoperto che due terzi dei bambini del posto presentano elevatissimi livelli di piombo nel sangue.

**Box 4.** Un esempio di ciò che avviene presso il più grande sito di smaltimento di rifiuti elettronici al mondo

minorile esponendo bambini ad un'infinità di rischi per la loro salute.<sup>10</sup> Una volta lavorati, i rifiuti elettronici vengono spesso gettati in discariche illegali adiacenti agli stabilimenti spesso andando ad inquinare ancor di più l'ambiente.

<sup>10</sup> Greenpeace, URL: <http://www.greenpeace.org/eastasia/campaigns/toxics/problems/e-waste/guiyu/>

## 4. COSA POSSIAMO FARE? ECONOMIA CIRCOLARE

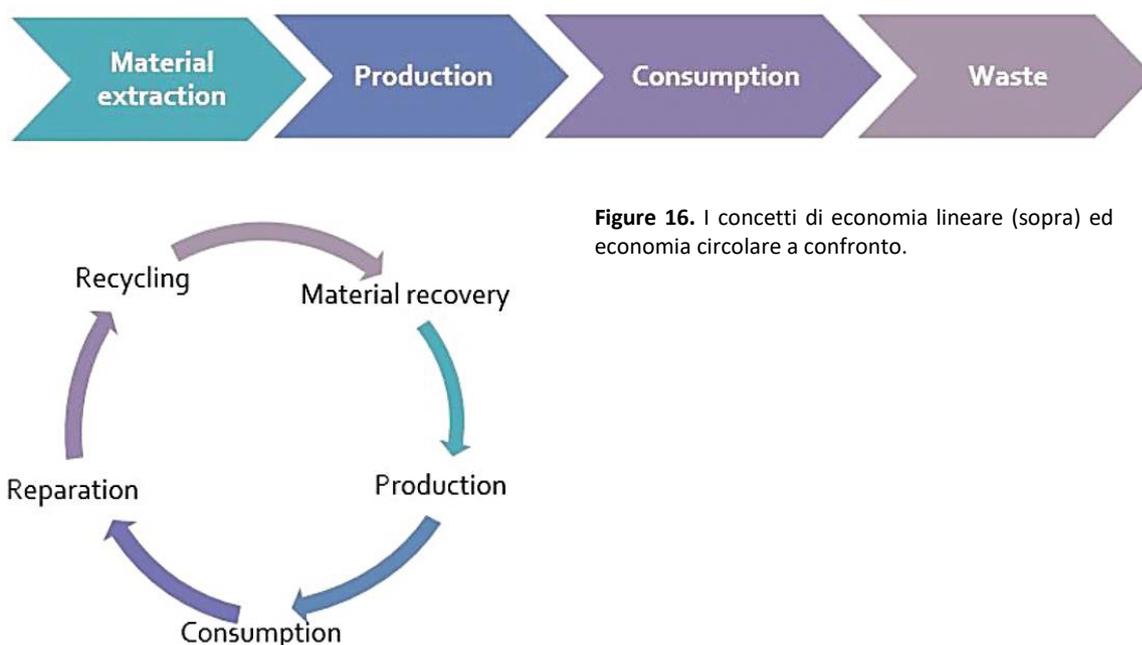
Oggi, il concetto di "economia circolare" gode di maggiore visibilità nei media e compare sempre più spesso anche nel dibattito politico come strategia volta a migliorare l'efficienza delle risorse e ridurre l'impronta ecologica dei consumi. L'idea di un'economia circolare non è, tuttavia, nuova; le sue origini risalgono, infatti, agli anni '60 ed, in particolare, ad un saggio di Kenneth Boulding dal titolo: "The Economics of the Coming Spaceship Earth" (Kenneth E. Boulding 1966). Il concetto trova la sua ispirazione in quelli che sono i naturali cicli dei nutrienti al cui interno diverse specie coesistono in un reciproco rapporto simbiotico. L'economia circolare si ispira, inoltre, anche alle idee che nascono dall'ecologia industriale, una branca della scienza di relativamente nuova creazione, che focalizza la propria attenzione sulla comprensione e la razionalizzazione dell'interazione tra biosfera e antroposfera (Geissdoerfer, 2017; Allwood, 2014; Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Da un punto di vista materiale, il pianeta Terra può essere senza dubbio considerato un sistema chiuso nel quale rifiuti ed emissioni in realtà non esistono visto che i rifiuti di una specie diventano il cibo di un'altra in un rapporto che si ripete a cascata in più cicli che attraversano eco-sistemi e catene alimentari. Per esempio, quando una pianta o un animale muoiono diventano cibo per altri organismi come vermi e batteri

che decompongono i materiali rendendoli idonei nutrienti per altre piante ed animali.

La nostra società, tuttavia, adotta un approccio lineare di tipo "prendi, fai, usa e getta" nella sua interazione con l'ambiente. Oggi, estraiamo materie prime, produciamo una vasta ed eterogenea gamma di prodotti a costi ridotti e li usiamo per poi gettarli via quando la loro vita utile è ancora lungi dall'essere terminata. Molti dei prodotti di cui ci disfiamo finiscono in discariche perdendo ogni loro valore e facendo sì che i materiali che contengono vadano prima o poi a far sentire il loro impatto sull'ambiente.

L'obiettivo dell'economia circolare è quello di ricalcare i processi naturali "puntando" a dar vita ad un'economia a rifiuti zero in cui i rifiuti di un'attività economica possano trasformarsi in input per altre attività. L'economia si dovrebbe, quindi, trasformare in un sistema rigenerativo in grado di "far circolare" le risorse naturali in modo tale da minimizzare rifiuti, emissioni e perdite di energia. L'approccio economico circolare prevede il "rallentamento", il "restringimento" e la "chiusura" dei cicli delle risorse e di quelli energetici attraverso l'adozione di strategie atte ad allungare la vita utile dei prodotti grazie ad un design razionale, ad un loro consumo conservativo ed



**Figure 16.** I concetti di economia lineare (sopra) ed economia circolare a confronto.

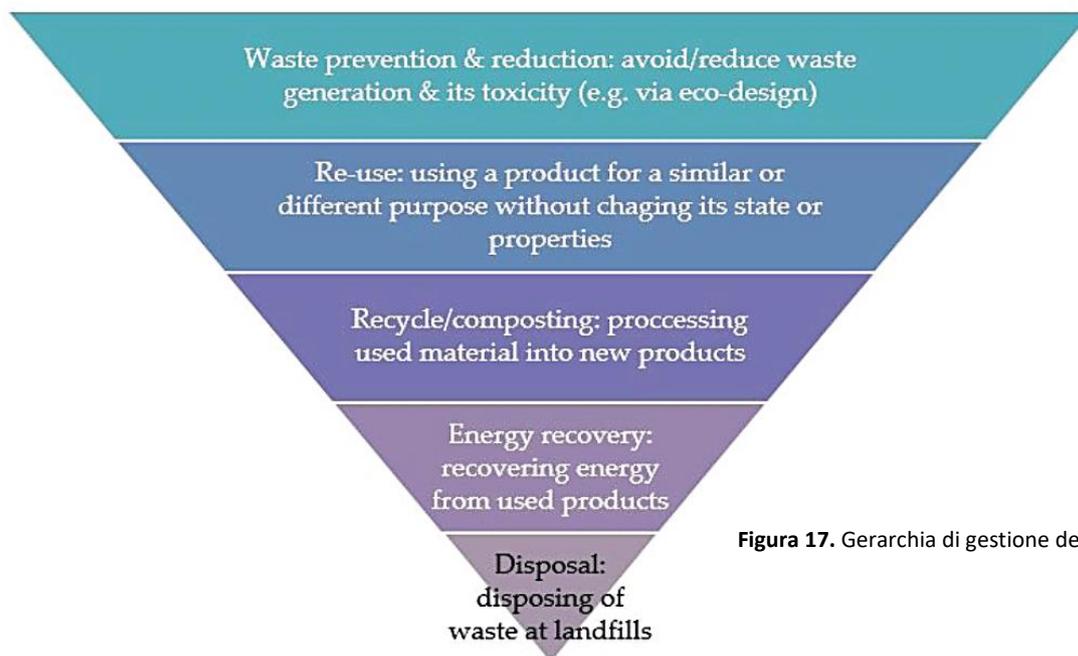


Figura 17. Gerarchia di gestione dei rifiuti

alla manutenzione, riuso, riciclaggio e recupero intelligente degli stessi.

I prodotti dovrebbero essere concepiti per durare a lungo, essere di facile uso e manutenzione, poter essere “upgradati” e risultare di agevole smontaggio e riciclaggio. Una buona strategia in tal senso è quella di rivolgere l’attenzione a materiali biologici agevolmente rigenerabili e recuperabili tramite compostaggio (per il recupero dei nutrienti) o digestione anaerobica (per recuperare energia). L’economia circolare prevede, inoltre, che aziende, organizzazioni e la società più in generale adottino modelli di business circolari dotati di una loro logica sotto il profilo economico che promuovano il più possibile l’interesse economico verso la circolazione dei materiali (Geissdoerfer, 2017). Il concetto di economia circolare opera una distinzione tra cicli tecnici e biologici (o antropogenici). Nei cicli biologici materiali alimentari e di origine biologica (come, per esempio, cotone, legno) possono essere reimmessi in uso attraverso processi come il compostaggio e la digestione anaerobica. Questi cicli rigenerano ed alimentano sistemi viventi come il suolo che, a loro volta, forniscono risorse rinnovabili all’economia. I cicli tecnici permettono di recuperare e ripristinare prodotti, componenti e materiali attraverso processi tecnici come il riuso, la riparazione, la riproduzione e (in ultima istanza) il riciclaggio.

#### 4.1. La gerarchia di gestione dei rifiuti

L’attenzione dell’economia circolare non si concentra soltanto sull’uso di sistemi di produzione intelligenti ma anche sull’elaborazione di strategie di gestione razionale dei rifiuti. Tutti i paesi UE adottano una comune strategia di gestione dei rifiuti e comuni linee

guida sulle modalità di riduzione dell’impatto ambientale dei rifiuti. Si tratta della “gerarchia di gestione dei rifiuti” (Figura 17). La gerarchia di gestione dei rifiuti è una strategia concepita per offrire a fabbricanti, organizzazioni statali, consumatori e altri attori della nostra società linee guida su come prioritizzare il proprio approccio alla gestione dei rifiuti allo scopo di ridurre gli impatti ambientali ed incrementare la circolarità.

- La prevenzione e la minimizzazione dei rifiuti rappresentano il primo step nella gerarchia di gestione dei rifiuti: per massimizzare gli impatti ambientali positivi occorre, innanzitutto, evitare di produrre rifiuti tenendo a mente la necessità di ridurre tanto la quantità quanto la tossicità; ciò potrebbe avvenire, per esempio, se i fabbricanti progettassero prodotti di migliore qualità e con una più lunga durata di vita, se le aziende creassero e proponessero ai consumatori nuove offerte a valore aggiunto (per esempio offrendo a questi ultimi prodotti da affittare anziché acquistare) e i consumatori cambiassero le proprie abitudini di consumo dando la priorità alla sufficienza, alla condivisione dei prodotti e al passaggio dai prodotti ai servizi.

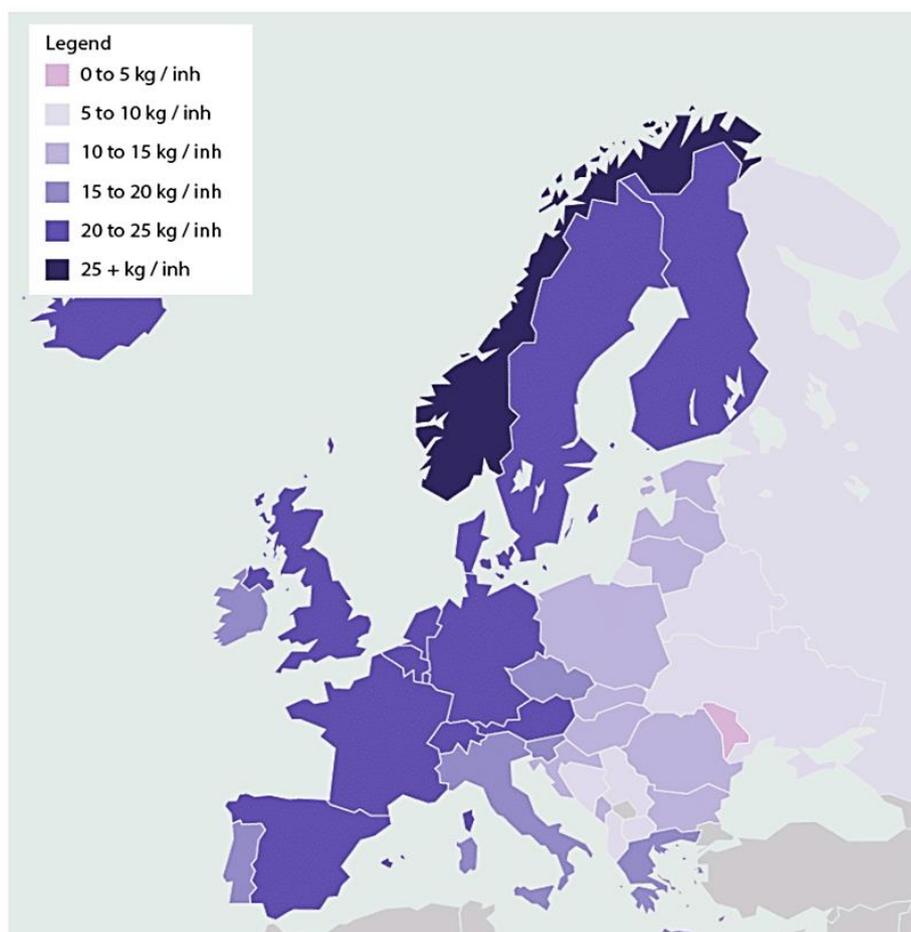
- Il riuso rappresenta la seconda migliore alternativa per la gestione dei rifiuti. Significa riutilizzare un prodotto per le stesse o per diverse finalità senza alterarne le proprietà primarie. Esempi di riuso sono l’acquisto di prodotti di seconda mano anziché nuovi e la condivisione dei prodotti con altre

persone. Il riuso prevede anche una maggiore attenzione verso la riparazione, la manutenzione e la “upgradabilità” dei prodotti. Ciò richiede, a sua volta, un ripensamento del design dei prodotti per migliorarne la longevità e la manutenibilità. Talvolta, anche se non risulta possibile riutilizzare il prodotto nella sua interezza, è comunque possibile farlo con i suoi componenti.

- Il riciclaggio è la strategia auspicata nel caso in cui non risulti più possibile o fattibile riusare il prodotto o parti di esso: tutti i rifiuti dovrebbero essere, per quanto possibile, soggetti a riciclaggio dei materiali che li compongono visto che l’uso di materiali riciclati in luogo di materie prime vergini garantisce una ben maggiore efficienza ambientale.

- La valorizzazione energetica può essere considerata una sorta di riciclaggio di minore qualità in cui ad essere riciclato è il contenuto energetico del prodotto e non bensì il suo valore materiale. Ad essa si dovrebbe ricorrere nel caso in cui il materiale contenuto nei rifiuti non risulti più riciclabile da un punto di vista tecnico o economico e l’unica opzione percorribile sia quella di valorizzare l’energia che esso racchiude. I benefici ambientali della valorizzazione energetica dipendono dal tipo di materiale di scarto e dall’efficienza dell’impianto di valorizzazione (inceneritore). In linea di massima, i massimi benefici ambientali si ottengono presso gli impianti che producono energia elettrica e calore (impianti di cogenerazione) per finalità di teleriscaldamento o usi industriali.

- Il conferimento in discarica rappresenta, tra le opzioni di gestione dei rifiuti, quella meno favorevole per i materiali che, dal punto di vista tecnico ed economico, non possano essere riutilizzati, riciclati o sottoposti a valorizzazione energetica. Le discariche possono produrre gravi impatti ambientali, ivi incluse emissioni di gas serra, infiltrazioni di percolati tossici nelle acque freatiche e gravi impatti sulla salute dovuti all’esposizione a emissioni tossiche ed altre malattie contagiose. Nell’ottica della gerarchia di gestione dei rifiuti, il conferimento in discarica dovrebbe avvenire solo in siti opportunamente concepiti e monitorati presso i quali si adottino sistemi di prevenzione e



**Figura 18.** Generazione di rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche nella UE (Baldé, Forti et al. 2017)

controllo della formazione di biogas tramite combustione in torcia e sistemi di trattamento dei percolati.

#### 4.2. Quale oggi lo stato della gestione dei rifiuti elettronici?

I rifiuti elettronici rappresentano il flusso di rifiuti in più rapida crescita all’interno della UE e a livello globale. Un recente studio ha stimato che, nel corso del 2016, siano stati oltre 44,7 i milioni di tonnellate di rifiuti elettronici generati a livello globale, l’equivalente di una media di 6,1 kg/pro capite, rispetto ai 5,8 kg/pro capite del 2014. Si tratta di una quantità di rifiuti corrispondente al peso di circa 4.500 Torri Eiffel messe insieme! Si prevede che entro il 2021 la quantità di rifiuti generata annualmente salga a 52,2 milioni di tonnellate o 6,8 kg/pro capite (Baldé, Forti et al. 2017). Nel 2016, solo per il 20% (ovvero 8,9 milioni di tonnellate) dei 44,7 milioni di tonnellate totali di rifiuti elettronici si ha prova che siano stati raccolti e riciclati in modo “appropriato” (ossia secondo quanto previsto dalle vigenti normative) in paesi ad alto reddito con sistemi di raccolta e gestione dei rifiuti ragionevolmente sviluppati. Un percentuale di essi stimata nel 4% viene smaltita tra i rifiuti non differenziabili destinati

verosimilmente ad essere inceneriti o conferiti in discarica. Il destino del rimanente 76% (34,1 milioni di tonnellate) rimane ad oggi oscuro. La maggior parte di esse viene con tutta probabilità scaricata in discariche abusive, anche se, tuttavia, è forse più probabile che vengano commerciate a livello internazionale destinandole al “riciclaggio” in paesi in via di sviluppo dove la manodopera risulta meno cara e gli standard ambientali e di tutela dei lavoratori più, per così dire, “rilassati” (Baldé, Forti et al. 2017). Anche nella UE, la quantità di rifiuti elettronici generati sta conoscendo una rapida crescita, dai 9 milioni di tonnellate stimati per l’anno 2012 ai 12,3 milioni di tonnellate del 2016 (16,6 kg/ pro capite), dato che si prevede possa salire a 12 milioni di tonnellate entro il 2020. Attualmente, le cifre ufficiali ci dicono che solo circa il 30% dei rifiuti elettronici generati nella UE viene trattato in conformità alle vigenti normative europee (CE 2018). Tra gli stati membri della European Economic Cooperation (EEC), la Norvegia è quello con la più alta quantità di rifiuti elettronici generati pro capite – circa 28,5 kg, seguita da Gran Bretagna e Danimarca (ciascuna con 24,9 kg/pro capite). La quantità di rifiuti elettronici generati pro capite in Svezia, Italia, Irlanda e Spagna è rispettivamente di 21,5, 18,9, 19,9 e 20,1 kg (dati risalenti tutti al 2016) (Baldé, Forti et al. 2017).

Nella UE, la gestione dei rifiuti elettronici è disciplinata dalla cosiddetta Direttiva RAEE (2012/19/UE) che disciplina la raccolta, il riciclaggio ed il recupero dei rifiuti elettronici prescrivendo pratiche di gestione dei rifiuti e definendo il ruolo dei diversi stakeholder. Gli obiettivi di raccolta dei rifiuti elettronici imposti al mercato europeo dalla Direttiva nel 2016 erano del

45%, che passerà al 65% entro il 2019. I paesi europei con i migliori risultati nella raccolta dei rifiuti elettronici sono la Svizzera (74% dei rifiuti generati), la Norvegia (74%), la Svezia (69%), la Finlandia e l’Irlanda (entrambe 55%) (Baldé, Forti et al. 2017).

Raggiungere questi obiettivi così ambiziosi risulta arduo, in particolar modo, in termini di tassi di riciclaggio. Oggi, il tasso medio di riciclaggio dei rifiuti elettronici si aggira attorno al 35-37%, dato rimasto pressoché invariato dal 2009 (Baldé, Forti et al. 2017). Nonostante il tasso medio europeo di raccolta dei rifiuti elettronici risulti essere più alto al mondo, le performance di raccolta e riciclaggio variano fortemente da uno Stato Membro all’altro. Paesi come Svizzera, Norvegia, Svezia, Finlandia, Germania e Italia guidano la classifica in termini di tassi di riciclaggio, ma anche in questi paesi la principale sfida resta quella legata al raggiungimento di più alti tassi di riciclaggio per i componenti elettronici più piccoli. Nella maggior parte dei paesi europei, le società di riciclaggio concentrano principalmente la propria attenzione sui rifiuti di componenti elettronici suscettibili di restituire la maggior quantità di materiali con il minore sforzo ed i minori costi di manodopera possibili (come, per esempio, scocche di computer e alimentatori). Ciò significa che materiali come rame, alluminio e plastica sono, tra quelli contenuti nei rifiuti elettronici, ad essere di norma riciclati per primi. Le parti di minori dimensioni contenenti componenti elettronici risultano, di norma, troppo care da smontare e riciclare a causa degli elevati costi di manodopera e dei ridotti volumi, il che impedisce a tale settore di attività di raggiungere una scala economica soddisfacente. I

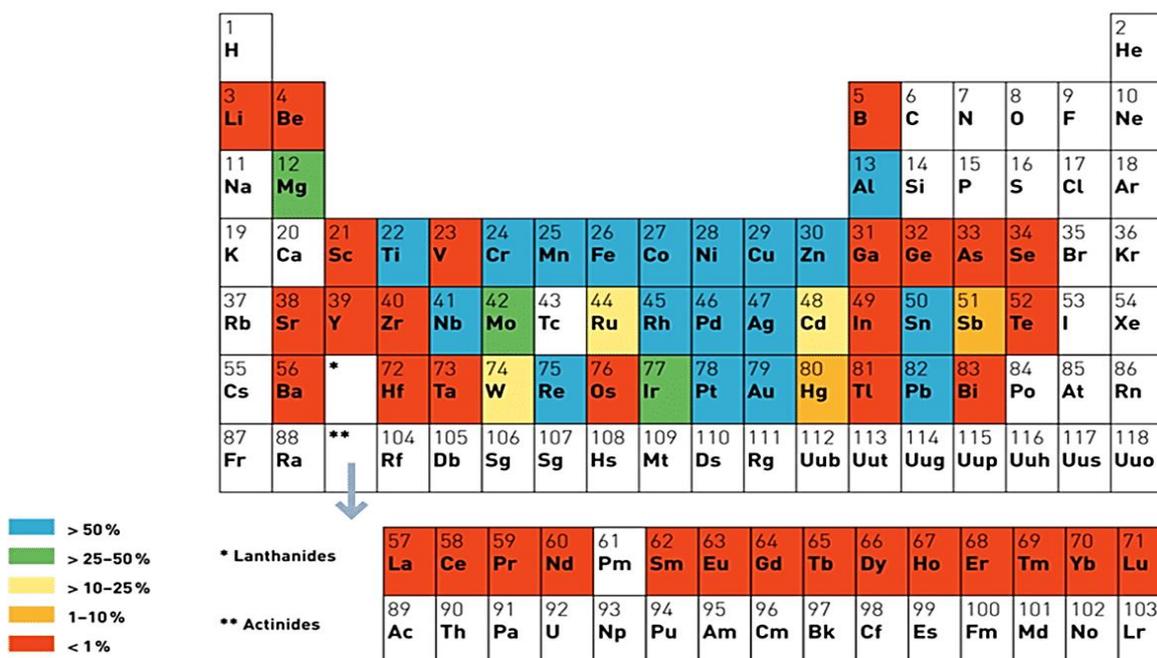
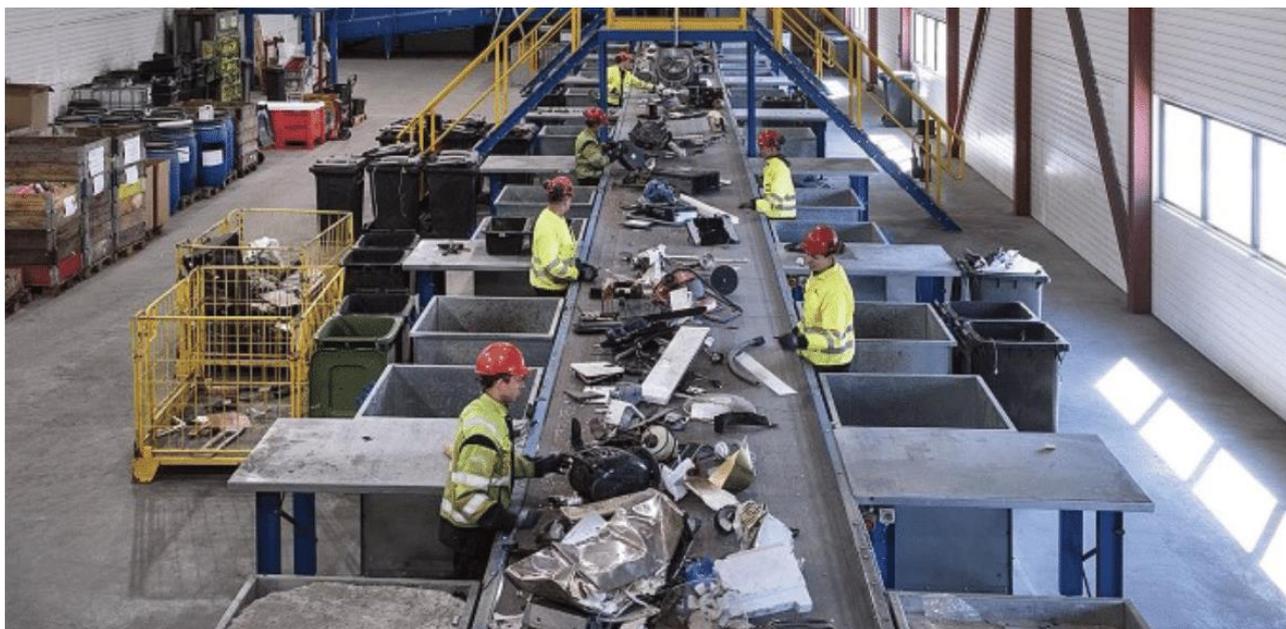


Figura 19. Tassi di riciclaggio di 60 metalli (Graedel et al. 2011).



**Figura 20.** Pre-trattamento di rifiuti elettronici presso la REVAC. (Fonte: REVAC AS 2019, Norvegia)

componenti elettronici di minori dimensioni vengono, di norma, triturati e inceneriti o conferiti in discarica. Inoltre, non è insolito che rifiuti di componenti elettronici vengano spediti illegalmente in paesi in via di sviluppo per essere riciclati senza alcun controllo esponendo la salute degli addetti a gravissimi rischi e determinando gravi danni a livello di inquinamento ambientale. Ciò implica che anche i tassi di riciclaggio dei materiali critici presenti nei rifiuti elettronici risultano molto bassi. La Figura 19 illustra i tassi di riciclaggio globali relativi a 60 metalli (Graedel et al. 2011). Nonostante i tassi di riciclaggio di metalli preziosi come platino, palladio, oro, argento e cobalto raggiungano o superino addirittura il 50%, molti altri metalli (in particolar modo terre rare come lantanoidi, scandio, ittrio, tantalio, gallio e indio) vengono riciclati per meno dell'1%.

### 4.3. Panoramica generale del processo di riciclaggio

Le attività "formali" di riciclaggio dei rifiuti elettronici si articolano, di norma, in 3 fasi principali: raccolta, pretrattamento e trattamento finale. Nonostante ciascuna di tali fasi possa essere svolta da una singola azienda, sono di solito più di una le aziende specializzate partecipanti a questa catena.

**I. Raccolta.** Quella della raccolta è una fase di fondamentale importanza per garantire l'economicità delle operazioni di riciclaggio. I rifiuti elettronici raccolti devono risultare esenti da materiali estranei ed essere preferibilmente costituiti da una tipologia uniforme di rifiuti elettronici. Questa fase è quella che meno dipende dalle soluzioni tecniche (tipo di mezzo di trasporto utilizzato per la raccolta o tipo di contenitore)

e dalle infrastrutture disponibili ma risulta, tuttavia, influenzata da fattori socio-economici come la consapevolezza ambientale delle famiglie, la conoscenza, da parte di queste ultime, della gestione dei rifiuti ed il loro impegno nello svolgere il proprio ruolo nello smistare le diverse frazioni di rifiuti. Anche l'impegno di chi produce rifiuti risulta, infatti, molto importante al fine di garantire elevati tassi di riciclaggio. L'efficienza nella raccolta rappresenta l'anello più debole nella catena del riciclaggio dei rifiuti elettronici. Anche alle altissime efficienze di riciclaggio (rese elevate), eventuali bassi tassi di raccolta andranno a condizionare in modo significativo la resa totale di materiali di recupero in percentuale del totale di rifiuti elettronici generati. Per esempio, anche un tasso di raccolta dei rifiuti elettronici piuttosto elevato come quello registrato in Austria (49% nel 2015), accompagnato da un'efficienza di pretrattamento del 75% ed un'efficienza di trattamento finale del 99%, non si è tradotta che in un tasso totale di recupero materiali da rifiuti elettronici di appena il 38%.

**II. Pretrattamento.** La seconda fase è quella della preparazione dei rifiuti al riciclaggio o pretrattamento. L'operazione si articola, di norma, in 3 fasi: (1) disinquinamento, (2) trattamento meccanico e (3) smistamento. Sono due le principali tecnologie adottate in Europa per il disinquinamento – lo smontaggio manuale, che prevede lo smistamento manuale di componenti di valore e pericolosi (per esempio batterie) con tassi piuttosto elevati, e lo smontaggio meccanico (tramite riduzione volumetrica e triturazione) seguito dalla cernita manuale di materiali pericolosi e di valore su appositi nastri trasportatori. Il processo di disinquinamento prevede, a sua volta, uno o più, processi di triturazione finalizzati

alla riduzione volumetrica dei dispositivi ed all'eliminazione di potenziali componenti pericolosi. Una volta sottoposti a riduzione volumetrica, i componenti presenti nei rifiuti elettronici triturati vengono sottoposti a vagliatura meccanica adottando diverse tecnologie di smistamento che variano a seconda dei materiali di input e materiali target, dei requisiti di legge e di altri fattori di ordine economico e tecnologico. Ciò che spesso interessa maggiormente le società di riciclaggio sono perlopiù metalli di uso comune come ferro e rame. I metalli ferrosi possono essere smistati utilizzando appositi magneti.

Quelli non ferrosi (per esempio alluminio o rame), invece, vengono smistati tramite l'induzione di campi elettromagnetici utilizzando una tecnologia nota come tecnologia a "correnti di vortice" (eddy-currents). I materiali plastici, che rappresentano una percentuale in peso molto ampia di tutti i materiali, vengono smistati manualmente o utilizzando tecniche di smistamento meccanizzato come la spettrometria ottica e tecnologie di flottazione. La prima prevede la cernita meccanica per colore delle diverse tipologie di materiali plastici mediante l'uso di avanzate tecnologie di riconoscimento ottico. Nella seconda, invece, i materiali plastici vengono smistati mediante soffiaggio o flottazione in liquidi secondo il rispettivo peso stechiometrico. A prescindere dall'approccio adottato in fase di pretrattamento, sono 4 i gruppi di materiali estratti: (i) materiali pericolosi (per esempio batterie), (ii) componenti di valore che possono essere riutilizzati/rivenduti sul mercato dopo lo smontaggio (iii) materiali di valore riciclabili (rame, alluminio, materiali plastici) che saranno venduti per essere sottoposti ad ulteriori procedimenti di recupero materiali e (iv) residui - materiali non pericolosi (materie ceramiche, alcuni materiali plastici etc.) non idonei al riciclaggio. Quest'ultima frazione termina verosimilmente il proprio cammino in discarica o viene incenerita.

**III. Trattamento finale.** Si tratta di una fase ad intensità tecnologica piuttosto elevata finalizzata al recupero di metalli e materiali plastici. Oggi, il recupero dei metalli avviene, di norma, attraverso processi pirometallurgici ed idrometallurgici (in minor misura) (Cui e Zhang, 2008). I metalli ferrosi sottoposti a smistamento magnetico vengono inviati presso fonderie di acciaio per recuperarne il ferro. I metalli non ferrosi smistati con l'ausilio di separatori eddy-current, come le eventuali frazioni ricche di alluminio, vengono inviate presso fonderie di alluminio. I componenti ricchi di materiali rameici (come, per esempio, fili e cavi elettrici) e quelli pericolosi (come, per esempio, condensatori, circuiti stampati, interruttori) vengono, invece, convogliati presso fonderie integrate in grado di recuperare fino a 30 diverse frazioni metalliche. Allo stesso tempo, l'emissione di eventuali sostanze pericolose viene controllata attraverso sistemi di

filtrazione all'avanguardia (Hagelken e Corti, 2010). Se il trattamento pirometallurgico risulta, tuttavia, un processo ad elevatissima intensità di capitali, quello idro-metallurgico comporta, invece, l'uso di acidi forti e può produrre un significativo impatto ambientale. Altre tecnologie emergenti come la bio-metallurgia e l'elettro-metallurgia sono in grado di far fronte ad alcune di tali problematiche ma mancano ancora, tuttavia, della necessaria economicità e non dispongono ancora della necessaria capacità installata.

#### 4.4. Vantaggi del riciclaggio dei rifiuti elettronici e dell'urban mining

Essendo la percentuale di rifiuti elettronici globali riciclati annualmente pari soltanto al 15-20% e vista la crescente domanda di materiali, riciclaggio ed urban mining stanno gradualmente acquistando interesse come fonti di materiali. Il termine urban mining indica la raccolta ed il riciclaggio di materie prime da prodotti usati, edifici e rifiuti in generale. Il termine urban mining nasce dal fatto che i materiali target si trovano spesso in aree urbane. Parlando di prodotti elettronici, il termine urban mining indica perlopiù il recupero di materiali metallici da rifiuti elettronici (ivi inclusi prodotti elettronici post-consumo), metalli presenti nelle strutture degli edifici (come, per esempio, cavi elettrici) e rifiuti depositati in discarica in esito al loro trattamento (cosiddetta tecnica del landfill mining). Il termine landfill mining indica l'estrazione di materiali di valore da frazioni concentrate di rifiuti elettronici depositati in discarica.

Riferito ai rifiuti elettronici, il termine urban mining è spesso associato alla raccolta e al recupero di metalli critici. I principali benefici garantiti dall'urban mining e dal riciclaggio dei rifiuti elettronici sono la conservazione delle risorse naturali e la riduzione degli impatti ambientali derivanti dall'estrazione primaria e dell'inquinamento tossico derivante dalle attività industriali. Inoltre, un più elevato tasso di "diversione" dei rifiuti elettronici dal conferimento in discarica riduce la domanda di discariche e di incinerazione generando anche risparmi di capitale. Una riduzione delle emissioni tossiche provenienti dai rifiuti elettronici in discarica comporta anche un alleggerimento della pressione cui si trovano ad essere sottoposti gli ecosistemi sensibili ed una riduzione del rischio di impatti sociali negativi derivanti dalla gestione illegale dei rifiuti in paesi terzi (Litchfield, Lowry et al. 2018). Anche il passaggio all'economia circolare può essere fonte di grandi benefici economici. L'urban mining può essere fonte di importanti proventi economici e di nuove opportunità di lavoro nei settori del riciclaggio e dell'industria metallurgica. È ben noto come il riciclaggio possa andare a creare cosiddetti "green job" nel settore ben oltre i confini del conferimento in discarica o dell'incenerimento. Nella

UE, l'urban mining offre alle aziende locali un canale alternativo di accesso ai materiali di valore riducendone la criticità e limitando la dipendenza dalle importazioni da regioni politicamente instabili. Solo pochi dei necessari metalli rari risultano direttamente disponibili da fonti primarie nel territorio della UE oggi. Tuttavia, la produzione di apparecchiature elettroniche e la rilavorazione dei materiali in nuovi prodotti avvengono perlopiù in altre parti del mondo, spesso in condizioni lavorative precarie. Si stima che i metalli rari presenti nei rifiuti elettronici a livello globale abbiano un valore netto di 55 milioni di EURO (Tabella 1) (Baldé, Forti et al. 2017).

Materiale	Quantità (kt)	Valore (M EUR)
Ferro (Fe)	16,283	3,582
Rame (Cu)	2,164	9,524
Alluminio (Al)	2,472	3,585
Argento (Ag)	1,6	884
Oro (Au)	0,5	18,840
Pd	0,2	3,369
Materiali plastici	12,230	15,043

**Tabella 6.** Esempi di quantità e valore di alcuni materiali presenti nei rifiuti elettronici generati a livello globale (Baldé, 2017).

## 4.5. Le sfide per l'economia circolare

### 4.5.1. Sfide economiche del riciclaggio dei rifiuti elettronici

A determinare la fattibilità economica del riciclaggio di materiali dai rifiuti elettronici (in particolar modo metalli rari) sono, di norma, il livello di tecnologia ed i costi relativi alla raccolta dei rifiuti ed alla logistica. Nei rifiuti elettronici sono spesso presenti quantità di metalli preziosi come oro e platino sufficientemente ampie da renderne il riciclaggio economicamente sostenibile. Il riciclaggio dei metalli e, in particolar modo, degli elementi rari, risulta più complicato. In Europa, la maggiore società di riciclaggio e recupero di metalli rari attiva sul mercato è la Umicore Ltd. con sede a Hoboken (Belgio), in grado di riciclare una grande varietà di metalli preziosi e rari da diverse fonti di rifiuti, ivi inclusi quelli elettronici. Il tasso di recupero annuo stimato della società, pari a circa 70.000 tonnellate di metalli, corrisponde a circa 1 milione di tonnellate di Emissioni di CO<sub>2</sub> evitate per produzione di metalli da fonti primarie (Hagelüken 2010). Il vantaggio

commerciale del riciclaggio dei rifiuti elettronici nasce dal fatto che in essi la concentrazione di materiali di valore risulta fino a 50 volte maggiore rispetto ai minerali ed ai minerali naturali grezzi. Per esempio, da circa 1 tonnellata di moderni smartphone si possono ricavare circa 300 g d'oro.<sup>11</sup> Estrarre una tale quantità d'oro da fonti naturali può richiedere l'estrazione e la lavorazione di 300-1.500 tonnellate di minerale grezzo aurifero. Nella maggior parte dei casi, la raccolta dei rifiuti post-consumo in un quadro di urban mining può richiedere molta meno energia e produrre molti meno rifiuti. Purtroppo, Umicore ed il suo sito di riciclaggio di Hoboken rappresentano ad oggi l'unica entità ad aver fornito, a livello europeo, evidenze di convenienza economica su larga scala relativamente al riciclaggio ed al recupero di una vasta gamma di metalli dai rifiuti elettronici. La disponibilità di tecnologie avanzate e di volumi di rifiuti elettronici sufficientemente ampi rappresenta un fattore di grande importanza in termini di convenienza economica.

Altre fonderie, come Boliden in Svezia ed altre ancora in Germania, Italia e Francia sono in grado di estrarre con convenienza economica solo un limitato ventaglio di metalli, principalmente metalli non-ferrosi e preziosi. Il conseguimento di maggiori efficienze nel riciclaggio dei rifiuti elettronici ed un incremento dei prezzi delle materie prime potrebbero regalare a più aziende una maggiore convenienza commerciale in futuro. Una maggiore domanda di materiali critici ed una più intensiva raccolta di prodotti finiti comporterebbe verosimilmente anche un incremento del numero di società di riciclaggio.

### 4.5.2. Problematiche ambientali e tecniche

Ad oggi, il riciclaggio di rifiuti elettronici si è concentrato principalmente sull'estrazione dei metalli dai materiali più comuni: materiali come acciaio, alluminio, rame, vetro e materiali plastici. Tuttavia, sono diversi i prodotti elettronici contenenti significative quantità di metalli critici e terre rare (si veda capitolo 1.2). Ampliando l'orizzonte di riciclaggio dei rifiuti elettronici dai materiali presenti in grandi volumi (metalli e materiali plastici) al recupero di metalli critici e terre rare potrebbe potenzialmente generare importanti benefici a livello ambientale ed economico. Tuttavia, il riciclaggio di tali materiali e, in particolar modo, dei metalli critici non è una passeggiata. Secondo alcuni studi, l'urban mining dei metalli rari può riciclare, a livello globale, meno dell'1% del contenuto che celano (Chancereel 2010).

Ciò dipende da diversi fattori. I prodotti elettronici sono tipicamente complessi e costituiti da un'ampia varietà di materiali e componenti eterogenei. Nonostante la sempre più vasta quantità di prodotti elettronici (TV,

<sup>11</sup> Fonte: <https://www.recupel.be/en/why-recycle/7-ragioni-why-urban-mining-is-overtaking-classical-mining/#>

tablet, lap-top o monitor) venduti sul mercato globale, la concentrazione di numerosi materiali (come, per esempio, oro e terre rare) per unità di prodotto sta subendo un rapido calo. Nonostante la tendenza generalmente positivamente data dalla riduzione dei materiali richiesti e dal fatto che si riesca a “fare di più con meno”, ciò comporta, tuttavia, anche sempre maggiori difficoltà nel recupero dei materiali vista la crescente “diluizione” del loro contenuto (Baldé, Forti et al. 2017).

L'estrazione di terre rare critiche dai rifiuti elettronici con un approccio di urban mining dipende dal tipo di dispositivi e dal potenziale valore delle materie prime in essi integrate. I metalli preziosi presenti nei circuiti stampati vengono generalmente recuperati dato il loro elevato valore economico e la convenienza dell'operazione in termini di costi di recupero.

Allo stesso tempo, il riciclaggio di altri materiali come gallio, germanio, indio e terre rare risulta impegnativo vista l'esiguità del loro contenuto nei prodotti ed il fatto che per risultare economicamente conveniente il loro riciclaggio richiede la presenza di elevati volumi di rifiuti in un solo posto (Mathieux, Ardente et al. 2017). Inoltre, sono svariate le problematiche tecniche associate al recupero, ed alla purificazione, di specifici metalli presenti nei rifiuti elettronici in ridottissime quantità. Una delle più grandi sfide relative al riciclaggio dei rifiuti elettronici è rappresentata dalla loro dispersione geografica e dal loro riciclaggio abusivo. Una vastissima fetta di rifiuti elettronici non riesce a farsi strada all'interno dei sistemi di riciclaggio “ufficiali”.

Molti dei rifiuti elettronici vengono trasportati dalla UE verso paesi in via di sviluppo dove l'estrazione dei metalli ha luogo utilizzando tecnologie primitive a bassa efficienza e senza che si adotti alcun tipo di misura di tutela dell'ambiente o della salute umana (si veda il capitolo 3). Le esportazioni illegali rappresentano con ogni probabilità il maggiore ostacolo al conseguimento di più elevati tassi di riciclaggio dei rifiuti elettronici. Inoltre, parte dei rifiuti elettronici finisce nel flusso degli indifferenziati senza essere neppure smistata terminando il proprio percorso di vita con l'incenerimento o il conferimento in discarica a seconda del tipo di gestione dei rifiuti adottato dal paese UE in questione (Baxter, Stensgård et al. 2015). Un incremento dei tassi di riciclaggio dei rifiuti elettronici non può prescindere da una più elevata consapevolezza ambientale da parte delle famiglie e dalla disponibilità di sistemi di raccolta dei rifiuti ben funzionanti.

Il crescente consumismo rappresenta un problema ambientale cui nessun materiale di scarto sfugge. La classe media ed i suoi redditi stanno crescendo a livello globale e questa categoria demografica preferisce spesso acquistare prodotti e dispositivi nuovi visto che essi vengono percepiti come “status symbol” in grado

di regalare riconoscibilità sociale ai loro possessori (Baldé, Forti et al. 2017). La rapidità con cui i cicli tecnologici si avvicinano nel settore dei prodotti elettronici determina un'eccessiva tendenza al consumo che fa sì che la maggior parte dei prodotti elettronici vengano messi da parte ben prima dell'esaurirsi della loro vita utile. I consumatori hanno sviluppato la tendenza a sostituire i propri dispositivi con versioni sempre più all'avanguardia a prezzi sempre più convenienti. Per esempio, uno smartphone presenta, a livello tecnico, una vita utile compresa tra 4 e talora addirittura 7 anni; tuttavia, in Europa la durata d'uso media di uno smartphone non è superiore agli 1,5-2 anni. Di norma, la vita utile degli smartphone dipende dalla durata del contratto stipulato con le compagnie telefoniche.



Schemi analoghi si osservano anche per altri prodotti elettronici come laptop, PC, TV e router. Non è raro neppure che si conservino in casa per un certo lasso di tempo alcuni dispositivi “obsoleti” prima di disfarsene. Per esempio, uno studio condotto in Norvegia ha evidenziato come siano circa 10 milioni i telefoni cellulari conservati nelle case del paese senza essere utilizzati. Circa il 60% dei norvegesi possiede più di 2 telefoni inutilizzati (Baxter, Wahlstrom et al. 2015). Nonostante i dispositivi in disuso non rappresentino una grande minaccia per l’ambiente, li si deve comunque vedere come un’opportunità persa di contribuire a contrastare gli impatti dovuti alla produzione di nuovi rivendendoli o regalandoli a qualcun altro. Inoltre, i dispositivi inattivi rappresentano un bacino di risorse sottoutilizzato che potrebbe essere trasformato in materiali utili nell’industria.

È importante che l’intero sistema e tutti gli attori coinvolti nel ciclo di vita del prodotto partecipino attivamente alle soluzioni circolari. I prodotti dovrebbero essere progettati per garantire longevità e facilità di upgrade, manutenzione, riparazione e smontaggio ai fini del loro riciclaggio. I consumatori dovrebbero, inoltre, prendere decisioni



Uno studio condotto in Norvegia ha evidenziato come siano circa 10 milioni i telefoni cellulari conservati nelle case senza essere utilizzati

informate nell’acquistare prodotti elettronici lasciandosi guidare, in particolare, da criteri di sufficienza, dalle potenzialità di condivisione del prodotto, dalla possibilità di acquistarlo di seconda mano o donarlo in un secondo momento e da adeguate abitudini di smistamento e smaltimento dei rifiuti. Gli attori pubblici dovrebbero coadiuvare tanto i fabbricanti quanto i consumatori nell’attuazione di tali strategie attraverso la creazione di condizioni favorevoli ed un adeguato supporto legislativo. Un idoneo quadro normativo risulta, inoltre, necessario allo scopo di favorire la creazione di infrastrutture atte ad incoraggiare e promuovere il riuso, la riparazione ed il recupero dei materiali di valore. Le autorità locali rivestono un ruolo di primo piano nello sviluppo di adeguati sistemi per la raccolta e la gestione dei rifiuti elettronici. Diffondere esempi di buone pratiche rappresenta un’importante azione educativa. È importante che tutte le parti del sistema funzionino a dovere il che risulta possibile soltanto se i diversi attori coinvolti svolgono il rispettivo ruolo in modo responsabile. I principali attori e le loro responsabilità sono descritti di seguito.

## 5. RUOLI e RESPONSABILITÀ DEI DIVERSI ATTORI

Considerando che l'impatto ambientale di un prodotto si estende lungo l'intero arco del suo ciclo di vita, dall'acquisizione della materia prima e dalla sua produzione al consumo ed alla gestione dei rifiuti, la partecipazione di tutti gli attori al processo di mitigazione di tali impatti ambientali risulta di vita importanza. Per esempio, un fabbricante può ottimizzare i propri processi di produzione in modo tale da minimizzare l'utilizzo di energia e materiali mentre, dal canto suo, il consumatore ha il potere di scegliere quale prodotto acquistare (o non acquistare) facendo, così, valere il proprio potere di consumatore. In questa sezione passeremo in rassegna i ruoli e le responsabilità dei diversi attori.

### 5.1. Consumatori

Essendo tutta la produzione dovuta alla domanda dei consumatori, non è certo di poca importanza cosa (e se!) il consumatore decida di acquistare. Ciò vale tanto per i consumatori privati quanto per i consumatori costituiti da autorità pubbliche (per esempio scuole) e aziende. Il consumo di dispositivi elettronici per uso domestico sta conoscendo una notevole crescita e l'impatto ambientale di tali prodotti risulta ben maggiore di quello di molti altri prodotti. È, quindi, molto importante prendere in considerazione le possibili alternative prima di acquistare un nuovo prodotto (Hallå Konsument 2017). Alcune di esse sono illustrate nel Box 6.

Quando si decide di disfarsi di rifiuti elettrici o elettronici, sarebbe opportuno conferirli presso idonea stazione di riciclaggio così che i relativi materiali possano essere nuovamente utilizzati. Se il prodotto è funzionante o necessita tutt'al più di qualche piccola sistemazione per esserlo, sarebbe opportuno chiedere ad un'azienda specializzata di occuparsene o portarlo in un negozio di articoli di seconda mano. Inoltre, i rifiuti elettronici possono essere anche riconsegnati ai rivenditori cui fa capo l'obbligo di raccogliarli.

Le batterie contengono sostanze pericolose come mercurio, cadmio e piombo e possono provocare gravissimi danni se smaltite in natura. Le batterie di piccole dimensioni possono essere smaltite all'interno di appositi cassonetti posizionati nei pressi delle stazioni di riciclaggio, presso gli appositi locali adibiti al riciclaggio negli edifici residenziali e persino presso i negozi di generi alimentari.

- Pensate, innanzitutto, quali siano le esigenze e le finalità che il nuovo prodotto deve soddisfare. Esistono alternative in grado di soddisfare comunque tali esigenze/finalità? È possibile prendere in prestito o acquistare il prodotto di seconda mano o riparare piuttosto il dispositivo attualmente in vostro possesso?
- Se decidete di acquistare comunque un nuovo prodotto, sceglietene uno con una lunga vita utile così da poterlo utilizzare per un maggiore lasso di tempo. Così facendo contribuirete a diminuire l'impatto ambientale totale e l'uso di materie prime.
- Se il prodotto che avete acquistato si rompe, l'azienda dalla quale lo avete acquistato è tenuta a provvedere alla sua riparazione o alla sua sostituzione se il problema è dovuto ad un difetto di produzione.
- Ricordate che avete il diritto di presentare reclamo riguardo al prodotto entro i tre anni successivi al suo acquisto.

**Box 6.** Cosa considerare prima di acquistare un nuovo apparecchio elettrico o elettronico

Oggi, numerose aziende propongono contratti di leasing per computer e molti altri prodotti. Tale modello di business intende ridurre l'esigenza che l'azienda, ha di far sì che il consumatore acquisti nuovi prodotti per garantire la propria sostenibilità economica. Al contrario, si va ad offrire al consumatore la semplice funzione del prodotto creando incentivi che incoraggino l'azienda a realizzare prodotti con una maggiore vita utile essendo, infatti, proprio questo il suo interesse economico.

Un'altra alternativa è rappresentata dall'acquisto di prodotti di seconda mano. A seconda dell'azienda, questi prodotti possono essere offerti con una garanzia così che il consumatore non si debba preoccupare del corretto funzionamento o meno del prodotto acquistato. Queste aziende rigenerano computer di seconda mano e li aggiornano per far sì che mantengano adeguate caratteristiche qualitative. Molte di tali aziende garantiscono anche l'idonea eliminazione di tutte le informazioni archiviate sul dispositivo prima della sua rivendita sul mercato, una questione questa cui molti consumatori prestano di norma molta attenzione.

In molte case si possono vedere numerosi apparecchi elettronici che nessuno utilizza più. Essendo oggetto di continui “upgrade”, i dispositivi elettrici ed elettronici diventano rapidamente datati. I prodotti ormai inutilizzati dovrebbero essere conferiti presso idonea stazione di raccolta così che il prodotto ed i materiali possano essere riutilizzati, contribuendo alla diminuzione dell’uso di materie prime ed all’attenuazione di numerosi impatti ambientali avversi.

## 5.2. Fabbricanti

I fabbricanti di prodotti elettrici ed elettronici possono influire su quello che è l’impatto ambientale dei propri prodotti adottando varie misure; e i consumatori possono fare pressione sui fabbricanti con le proprie scelte di acquisto. I fabbricanti hanno la responsabilità di occuparsi dei rifiuti elettronici e trattarli nel modo più ecosostenibile possibile (Swedish EPA 2018):

Una “direttiva” è uno strumento legislativo rivolto agli Stati Membri UE che definisce obiettivi o norme da attuarsi (European Law Monitor 2018). Ai sensi della Direttiva RAEE, agli Stati Membri UE corre l’obbligo di provvedere al ritiro ed al riciclaggio dei rifiuti di prodotti elettrici ed elettronici. Lo stesso discorso vale per le batterie secondo quanto previsto dalla Direttiva Batterie (RAEE Europe 2018). Si tratta della cosiddetta “Responsabilità del produttore”, uno strumento legislativo concepito per agevolare il conseguimento degli obiettivi ambientali comunitari attenuando l’impatto ambientale dei prodotti. L’idea è quella di motivare i fabbricanti a sviluppare prodotti nei quali si utilizzi meno materia prima, che risultino più facili da riciclare e non contengano sostanze pericolose (Swedish EPA 2018). In tal senso, si definisce “produttore” chiunque metta un prodotto a disposizione sul mercato, che si tratti del fabbricante o di chi importa il prodotto.

La Ellen MacArthur Foundation è un’associazione di beneficenza no-profit lanciata nel 2010 con la missione di accelerare la transizione verso un’economia circolare. Sin dalla sua costituzione, l’associazione ha promosso attivamente l’introduzione del tema dell’economia circolare nelle agende dei decisori di aziende, governi ed istituzioni accademiche. Sono quattro gli elementi costitutivi essenziali di un’economia circolare identificati dalla Ellen MacArthur Foundation: la progettazione circolare, nuovi modelli di business, cicli inversi, e fattori abilitanti e condizioni di sistema favorevoli (Ellen MacArthur Foundation 2017). Il primo elemento costitutivo (progettazione circolare) suggerisce che le aziende debbano sviluppare competenze nella progettazione circolare finalizzate alla facilitazione del riutilizzo dei prodotti e del riciclo. Ciò si attua attraverso la selezione dei materiali, l’uso di componenti standardizzati (di

La Ellen MacArthur Foundation offre risorse didattiche dedicate a scuole ed università per incoraggiare gli studenti a ripensare l’economia del “prendi-fai-getta” (economia lineare) e costruire sistemi sostenibili sul lungo termine.

Le risorse sono disponibili all’indirizzo: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/learn/schools-colleges-resources>

**Box. 7.** Risorse didattiche sull’economia circolare per scuole ed università.

facile sostituzione), di prodotti progettati per durare e che risultino di facile smistamento una volta divenuti rifiuti, prodotti che siano facili da separare per poter essere riutilizzati ed agevolare il riciclo dei materiali che li compongono. Il secondo elemento costitutivo essenziale prevede che i fabbricanti diano vita a nuovi modelli di business atti a promuovere l’economia circolare tra cui, per esempio, modelli di business da “condividere”, da “prestare” e sistemi “take-back”.

In un clima di crescente consapevolezza ambientale, sul mercato si possono scorgere nuovi attori che trattano prodotti di seconda mano con modelli di business in linea con i dettami dell’economia circolare. Aziende come la svedese Inrego sono specializzate nella rigenerazione di computer ed apparecchiature informatiche e nella loro rivendita sul mercato dell’usato. Raccolgono computer, telefoni ed altre apparecchiature informatiche usate da aziende, autorità ed altre organizzazioni di grandi dimensioni e, talora, anche da privati (Inrego 2018). Un altro esempio è rappresentato da Swappie, attualmente attiva in Svezia e Finlandia, azienda specializzata in iPhone di seconda mano che acquista i telefoni da altre aziende e da privati per poi rigenerarli e rivenderli (Swappie 2018). Uno dei vantaggi offerti da aziende e modelli di business di questo tipo è che il consumatore si può sentire più sicuro di acquistare un prodotto funzionante, corredato di garanzia e diritti di reso, rispetto a quanto avvenga acquistando lo stesso prodotto in un negozio di articoli di seconda mano.

Fairphone è un esempio di modello di business più circolare dedicato sempre ai telefoni. Dopo aver mosso i primi passi come campagna di sensibilizzazione nel 2010, l’azienda con sede ad Amsterdam oggi è attiva in 20 paesi. L’azienda vende telefoni modulari che consentono la sostituzione di ogni loro parte con una nuova in caso di guasto (Fairphone 2018). Così facendo, i telefoni vengono realizzati per durare più a lungo; per esempio, in caso di rottura del display o di guasto alla batteria, è possibile acquistare un nuovo modulo del componente in questione ed i componenti sono realizzati in modo tale da poter essere agevolmente sostituiti dal consumatore con l’ausilio di appositi

tutorial online. Un'altra caratteristica interessante è quella che il Fairphone (Fairphone 2) è in grado di accogliere due schede SIM consentendo così di utilizzare lo stesso telefono sia per attività lavorative che per conversazioni private (Fairphone 2018). Ciò può far venire meno la necessità di acquistare due telefoni consentendo, nel contempo, di separare la vita lavorativa da quella privata. L'azienda offre anche sconti a chi le restituisce il precedente telefono che viene, quindi, riciclato. Fairphone si impegna anche per dare vita ad una catena di approvvigionamento trasparente (qualcosa di spesso molto complesso quando si parla di elettronica!) così da evitare l'uso di materiali e fabbricanti coinvolti in vicende di ingiustizia sociale e/o economica e problematiche ambientali.

Un altro esempio di modello di business circolare è il "lighting-as-a-service" ("illuminazione come servizio"). Aziende ed enti pubblici possono acquistare la "luce" sotto forma di funzione anziché acquistare i prodotti veri e propri necessari ad ottenere la stessa funzione. In altre parole, un'azienda di servizi si prende cura delle esigenze di illuminazione del cliente, ivi incluse tutte le attività di installazione, manutenzione ed esercizio, dell'elettricità e del monitoraggio del servizio a fronte di un canone mensile o su base "pay-per-use". Come già accennato, questo tipo di modello di business incentiva le aziende di servizio a creare prodotti e sistemi di lunga durata visto che ciò rientra nel proprio interesse economico. Tra le aziende che offrono questo tipo di servizio ci sono Philips (Paesi Bassi, attiva a livello globale), Digital Lumens (USA, attiva a livello globale) e Ledlease (Paesi Bassi) (Accenture 2016).

### 5.3. Attori pubblici

Attori pubblici come la UE, le autorità nazionali e le autorità locali rivestono un ruolo importante nell'indirizzare la gestione dei rifiuti di prodotti elettrici ed elettronici verso un sistema più sostenibile attraverso l'attuazione di strumenti legislativi e normativi.

Nella UE, i principali atti legislativi adottati in materia sono i seguenti: la Direttiva RAEE rifiuti di apparecchi elettrici ed elettronici (Direttiva RAEE), la Direttiva sulla restrizione dell'uso di determinate sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche (Direttiva RoHS) e la Direttiva Ecodesign.

Una delle conseguenze dirette della Direttiva RAEE è stata la creazione di schemi di raccolta che permettono ai consumatori di rendere i propri rifiuti elettronici gratuitamente ai rivenditori allo scopo di incrementare il riutilizzo ed il riciclaggio dei rifiuti elettronici. La Direttiva RoHS prevede la sostituzione di metalli pesanti come piombo, mercurio, cadmio, cromo esavalente e certi ritardanti di fiamma con alternative più sicure (Commissione Europea 2018). La Direttiva Ecodesign va

Riuscite a nominare un prodotto che sia già stato sostituito da un servizio (ossia un prodotto la cui funzione è resa disponibile da un servizio)? Pensate quali altre funzioni possano essere acquisite sotto forma di servizio anziché di prodotto fisico.

**Box 8.** Domande sulla transizione da prodotto a servizio.

a dotare la UE di norme finalizzate a migliorare le prestazioni ambientali di prodotti come elettrodomestici, tecnologie informatiche e di telecomunicazione in fase di progettazione fissando una serie di requisiti obbligatori in materia di efficienza energetica dei prodotti, contribuendo ad impedire la creazione di barriere alla libera circolazione delle merci e migliorando qualità e tutela dell'ambiente (Commissione Europea 2018).

La UE ha adottato anche il Circular Economy Package, un piano di azione volto a trasformare l'economia europea in un'economia più sostenibile. Il "pacchetto" consiste in un piano di azione europeo per l'economia circolare che prevede un programma di azione tanto concreto quanto ambizioso riguardante l'intero ciclo di vita di un prodotto, dalla produzione e dal consumo fino alla gestione dei rifiuti e al mercato delle materie prime e secondarie così come una serie di proposte di revisione della legislazione sui rifiuti (Commissione Europea 2018). Tra le proposte di revisione della legislazione sui rifiuti ci sono, per esempio, anche più impegnativi obiettivi di riciclaggio: un obiettivo europeo comune per il riciclaggio del 65% dei rifiuti urbani entro il 2030 ed incentivi economici finalizzati ad incoraggiare i fabbricanti ad immettere sul mercato prodotti più "verdi" così come schemi di sostegno al recupero e riciclaggio dei rifiuti elettronici, tra gli altri rifiuti. Si sono avanzate, poi, anche proposte specificamente dirette ad una revisione della Direttiva RAEE.

Le proposte di revisione contenute nel "pacchetto" CE prevedono la fissazione di requisiti generali in materia di Responsabilità Estesa del Produttore (EPR, descritta di seguito), che prevedono il versamento, da parte dei fabbricanti, di contributi finanziari a schemi EPR nell'ambito di un regime di responsabilità estesa del produttore che tenga conto dei diversi costi economici/ambientali dei prodotti a fine vita (Commissione Europea 2016).

## 5.4. Responsabilità Estesa del Produttore (EPR)

La Responsabilità Estesa del Produttore prevede che ogni produttore che immetta apparecchi elettrici sul mercato si faccia carico, in misura significativa, anche della responsabilità legale e finanziaria degli impatti ambientali generati dai propri prodotti lungo l'intero arco della vita utile degli stessi (OCSE 2018), sia a monte della produzione come nel caso della selezione dei materiali contenuti nei prodotti che a valle della stessa come per ciò che riguarda l'uso e lo smaltimento dei prodotti a fine vita. Nel quadro di tale responsabilità del produttore, i fabbricanti sono, quindi, tenuti a garantire, finanziandoli, la raccolta ed il riciclaggio ecosostenibile dei propri prodotti una volta che questi siano giunti a fine vita. Chiunque metta un prodotto a disposizione sul mercato viene definito produttore, a prescindere dal fatto che produca effettivamente o distribuisca soltanto i prodotti (El-Kretsen 2018).

Oltre a quello di predisporre e finanziare idonei schemi di "take-back", tra gli obblighi del produttore rientrano anche quello di iscriversi ad un registro nazionale, quello di dichiarare il materiale immesso sul mercato e quello di informare gli utilizzatori finali (come, per esempio, i consumatori) su come meglio smaltire il prodotto a fine vita (dal punto di vista ambientale). Il prodotto deve essere, inoltre, anche provvisto di etichetta riportante opportuna icona (un bidone della spazzatura con ruote barrato) per indicare chiaramente all'utilizzatore finale che il prodotto non deve essere gettato in un normale cestino dell'immondizia. Il produttore deve, inoltre, fornire alle società di riciclaggio idonee informazioni su come smontare il prodotto, evitare l'inquinamento e recuperare il prodotto (RAEElogic 2018).

La maggior parte dei fabbricanti affidano la gestione di tali responsabilità a consorzi EPR nel quadro dei quali i fabbricanti danno vita a sistemi di "take-back" comuni che cofinanziano. Esempi di consorzi EPR sono il consorzio El-Kretsen in Svezia, REPIC in Gran Bretagna e il consorzio UFH in Austria (RAEE Europe 2018). I consorzi EPR consentono di rendere il finanziamento dei sistemi di raccolta economicamente più sostenibile e di più agevole gestione a livello logistico rispetto ai sistemi di "take-back" separati posti in essere da singoli fabbricanti. Per esempio, il consorzio El-Kretsen ha il compito di offrire un sistema "take-back" a livello nazionale e collabora con tutti i 290 comuni svedesi così come con società di riciclaggio (El-Kretsen 2018).



**Figura 21.** Box per la raccolta di batterie in Svezia

#### 5.4.1. Come funziona la EPR in Svezia

In Svezia, la Responsabilità Estesa del Produttore trova applicazione esattamente come nel resto della UE e, come accennato sopra, il consorzio El-Kretsen è il consorzio EPR responsabile per l'organizzazione ed il finanziamento del sistema "take-back" che attua in collaborazione con comuni e società di riciclaggio. I prodotti di consumo vengono raccolti attraverso il sistema di raccolta comunale, i cassonetti di raccolta batterie El-Kretsen o attraverso i rivenditori (ibid.).

Sono all'incirca 10.000 i cassonetti per la raccolta delle batterie, 600 i centri di riciclaggio e 30 gli stabilimenti di riciclaggio presenti in Svezia (El-Kretsen 2018). I cassonetti per la raccolta delle batterie sono presenti nei pressi di numerose farmacie, negozi di generi alimentari, centri commerciali e negozi al dettaglio, talvolta anche presso le stazioni di riciclaggio dove i residenti possono conferire i propri rifiuti di imballaggi, Figura 21.

I "Samlaren" sono armadi destinati alla raccolta di bombolette spray, lampadine e altre sorgenti di illuminazione, batterie e dispositivi elettrici ed elettronici di piccole dimensioni come i telefoni cellulari (Stockholm Vatten och Avfall 2018). Questi armadietti sono presenti in diversi punti delle città, spesso nei pressi di supermercati, Figura 22. Naturalmente, i rifiuti elettronici possono essere anche conferiti presso uno dei 600 centri di riciclaggio destinati alla raccolta della maggior parte delle tipologie di rifiuti, Figura 23 e Figura 24. Dal 2015, i rivenditori di dispositivi elettrici ed elettronici sono tenuti per legge ad accettare i rifiuti elettronici che vengono resi, ossia i consumatori hanno il diritto di rendere i propri rifiuti elettronici direttamente al rivenditore (El-Kretsen 2018). Con il termine "rivenditori" si intendono tanto i negozi "fisici" quanto quelli online presso cui si possano acquistare dispositivi elettrici ed elettronici. I rivenditori più grandi possono accettare tutti gli articoli di elettronica di consumo di dimensioni inferiori a 25 cm. In altri negozi, invece, il consumatore ha la possibilità di rendere un vecchio dispositivo acquistandone uno nuovo. I dispositivi raccolti vengono, quindi, affidati ad un sistema di riciclaggio certificato (ibid.).

Per quanto riguarda le aziende, nei comuni sono presenti punti di raccolta presso i quali possono conferire i propri rifiuti elettronici gratuitamente. Alcune aziende sono abbastanza grandi da poter gestire autonomamente i propri rifiuti elettronici ed essere di conseguenza riconosciute come punti di raccolta.

Tuttavia, prima che i prodotti si trasformino in rifiuti, il consumatore ha a propria disposizione l'alternativa di affidare i propri prodotti a vari attori del settore dell'usato come Myrorna, Stadsmissionen e il negozio online di articoli di seconda mano Blocket o ad aziende specializzate nella rigenerazione dei prodotti come



**Figura 21.** La raccolta delle batterie avviene anche presso i centri di riciclaggio e attraverso i cosiddetti "Samlaren" (traduzione: "raccogliitore").

quelle di cui abbiamo parlato in precedenza (come, per esempio, Inrego e Swappie). a livello ambientale è quella di utilizzare il prodotto il più a lungo possibile; seguono il riuso e, da ultimo, il riciclaggio. Quindi, i singoli consumatori dovrebbero, innanzitutto, prendere in considerazione l'acquisto di un prodotto di seconda mano anziché di uno nuovo dopo aver, in ogni caso, attentamente considerato di avere davvero bisogno del prodotto in questione. Si potrebbe, infatti, prendere in prestito, dare in prestito o addirittura condividere un prodotto. Secondo la summenzionata gerarchia di gestione dei rifiuti, la migliore opzione cui ricorrere in prima battuta

#### 5.4.2. Altri paesi

In Italia, l'attuazione della Direttiva RAEE ha fornito ai fabbricanti l'opportunità di aderire a diversi schemi di compliance (Ecodom 2012). Prima dell'entrata in vigore della Direttiva RAEE, in Italia i rifiuti elettronici domestici venivano raccolti insieme agli altri rifiuti domestici dai comuni per essere, quindi, conferiti presso centri di trattamento che non sempre disponevano di adeguate attrezzature per lo smontaggio, la triturazione e lo smistamento delle diverse frazioni ai fini del riciclaggio.



Figura 22. Tipico centro di riciclaggio in Svezia (Fonte Recycling, 2015).

Oggi, lo schema di raccolta prevede il ritiro dei rifiuti elettronici da tutti i centri di raccolta ad esso aderenti, siano essi comunali o privati (Ecodom 2012). Il consumatore è tenuto a conferire i propri rifiuti elettronici a questi punti di raccolta o ai rivenditori.

In Spagna, il regio decreto-legge (110/2015) sugli apparecchi elettrici ed elettronici recepisce le direttive europee nella legislazione nazionale in materia di responsabilità del produttore (Ecotic 2018). Tra gli obiettivi del regio decreto-legge (Ministerio para la transición ecológica 2015) vi sono quelli di:

- Dare vita ad un quadro normativo più chiaro allo scopo di incrementare il livello di certezza del diritto e fornire una descrizione dettagliata degli obblighi facenti capo a utilizzatori, fabbricanti, rappresentanti autorizzati, importatori, distributori e gestori.
- Creare uno strumento di vigilanza unico per il controllo dei dati sui rifiuti elettronici a livello regionale e nazionale allo scopo di verificare l'osservanza degli obiettivi definiti nel settore e garantire la tracciabilità e l'appropriata gestione dei rifiuti.
- Promuovere il riuso e la preparazione al riuso, incoraggiare la creazione di centri di riuso e di posti di lavoro.
- Garantire affidabilità e sistematizzare gli obblighi di rendicontazione sulla raccolta e sul recupero dei rifiuti elettronici facenti capo ai fabbricanti di prodotti elettrici ed elettronici ed ai gestori di rifiuti elettronici garantendo una gestione uniforme dei rifiuti elettronici.

- Ottimizzare a livello economico ed efficientare la gestione dei rifiuti elettronici nel quadro del regime di responsabilità estesa del produttore.

In Spagna, Ecotic è il consorzio responsabile per il finanziamento e l'organizzazione degli schemi di gestione di rifiuti elettronici (Ecotic 2018). In Spagna, i tre principali punti di raccolta sono (Ecotic 2018):

- Punti di riciclaggio ed altri centri comunali.
- Magazzini di società di distribuzione presso cui i rifiuti vengono depositati.
- Centri di consolidamento carichi allestiti da Ecotic che accettano rifiuti elettronici da punti di riciclaggio e distributori prima del loro trasferimento alle aziende di riciclaggio.

I rifiuti elettronici possono essere, inoltre, anche resi ai rivenditori al momento dell'acquisto di un nuovo prodotto; i rivenditori hanno anche l'obbligo di accettare dispositivi di dimensioni inferiori ai 20 cm a prescindere dall'acquisto o meno di un nuovo prodotto da parte del consumatore (ibid).

In Irlanda, WEEE Ireland è il principale consorzio EPR responsabile per la raccolta ed il trattamento dei rifiuti elettronici per conto dei fabbricanti (RAEE Ireland 2018). Il consorzio, attivo dal 2005, rende possibile il conferimento dei rifiuti elettronici presso centri di riciclaggio locali, giornate di raccolta pubbliche, rivenditori e punti di "scambio lampadine". Per quanto riguarda le batterie, è possibile conferirle anche presso edicole e negozi di generi alimentari (ibid.). Rivenditori, grossisti, strutture sanitarie, aziende pubbliche e private e scuole possono richiedere gratuitamente

cassonetti per la raccolta delle batterie, trolley ed altri cassonetti di raccolta rifiuti da installare per la raccolta

di rifiuti elettronici nei pressi del proprio negozio o della propria sede.

## 6. STRATEGIE DI COMUNICAZIONE PER UNA MIGLIORE GESTIONE CIRCOLARE

Per promuovere una maggiore consapevolezza ambientale e, di conseguenza, la raccolta, il riuso, ed il riciclaggio dei rifiuti elettronici, sono diverse le strategie di comunicazione messe in atto. Di seguito, vi proponiamo alcuni esempi di strategie di comunicazione di successo promosse in Svezia.

“Batteriåtervinningen” (traduzione: “riciclaggio batterie”) è un’iniziativa promossa dai fabbricanti di batterie svedesi con la collaborazione di Blybatteriretur (un consorzio EPR svedese dedicato alla raccolta delle batterie al piombo), El-Kretsen e Recipo (un consorzio EPR per la raccolta di rifiuti elettronici e batterie attivo in tutte le contee del paese dal 2007) (Blybatteriretur 2018, Recipo 2018). Dal 2012, Batteriåtervinningen si fa carico della responsabilità di informare la popolazione svedese sul perché sia importante riciclare le batterie (Batteriåtervinningen 2018). Sulla homepage di Batteriåtervinningen, si forniscono ai consumatori informazioni su quali siano i punti di raccolta batterie a loro più vicini, sul perché sia importante contribuire alla raccolta di prodotti elettrici ed elettronici usati, si presentano loro statistiche sul riciclaggio ed informazioni sugli impatti ambientali delle batterie in caso di loro improprio smaltimento e molto altro. Inoltre, Batteriåtervinningen è attiva anche su social media come Facebook, Twitter e Instagram per fornire informazioni sempre aggiornate al maggior numero possibile di consumatori. L’iniziativa ha dato anche vita ad eventi popolari su Facebook in varie città svedesi, invitando il pubblico a partecipare a “mercatini delle pulci dell’elettronica” dove i consumatori possono riusare e condividere apparecchi elettrici ed elettronici. Batteriåtervinningen ha prodotto, inoltre, anche materiali didattici dedicati alle scuole. “Sopskolan.se” (traduzione: “a scuola di rifiuti”), per esempio, propone interessanti materiali didattici sui rifiuti pericolosi dedicati agli studenti di età compresa tra i 14 e i 16 anni. I materiali sono prodotti dal consorzio di gestione dei rifiuti svedese El-Kretsen con la collaborazione di una serie di informatori didattici.

“Batteriskolan” (traduzione: “a scuola di batterie”) è una scuola online che propone materiali didattici dedicati ai più piccoli per informarli sulle batterie, sul riciclaggio ed altre questioni ambientali (Batteriåtervinningen 2018). I corsi sono sviluppati da scuole Keep Sweden Tidy, un’organizzazione no-profit

impegnata nella promozione del riciclaggio e nella mitigazione della produzione di rifiuti (HSR 2018).

Un progetto intitolato ELAN (Elektronik ska åter-ANvändas, traduzione: “riutilizziamo le apparecchiature elettroniche”), condotto nel quadro del programma strategico di ricerca RE:Source e finanziato dall’Agenzia Svedese per l’Energia e da altri partner aderenti al progetto, ha studiato e testato metodi finalizzati ad incrementare il riuso degli apparecchi elettrici ed elettronici (Torres, Björnsson et al. 2018). Tra i metodi testati lo sviluppo di note di reso che consentano il reso dei dispositivi elettronici usati quando si acquistano nuovi prodotti online, la personalizzazione dei cassonetti per la raccolta/dei container dedicati ai rifiuti elettronici presso i centri di riciclaggio, la raccolta e la verifica in-store dei dispositivi elettronici usati, la raccolta e la verifica della funzionalità degli apparecchi ed altre iniziative informative tra cui editoriali, comunicati stampa, clip radio, presentazioni nell’ambito di conferenze ed una campagna Facebook.

Si è stimato che le campagne informative tenutesi nell’ambito del progetto presentino relativamente buone potenzialità di produrre un cambiamento nei comportamenti della gente (ibid.). Informazioni sulle problematiche inerenti i rifiuti elettronici ed i benefici del riuso e del riciclaggio sono state comunicate attraverso vari canali raggiungendo un ampio e variegato pubblico target. Nonostante risulti difficile misurare gli effetti della comunicazione, è, comunque, importante sensibilizzare i cittadini dando visibilità pubblica ad una problematica che li ispiri ad adottare abitudini di consumo ed uno stile di vita più sostenibili. I partner del progetto ELAN hanno scelto due iniziative attraverso cui dare seguito al progetto dopo la sua conclusione: la campagna Facebook “Circular Electronics Day” e l’approccio basato sulle note di reso. Obiettivo della campagna Facebook era quello di istituire una giornata nazionale del riuso degli articoli di elettronica da tenere il 24 gennaio, un giorno in cui i portafogli di molti sono ormai vuoti dopo le festività natalizie. Si è così proceduto a creare una pagina Facebook contenente numerosi post sui benefici ambientali del riuso e suggerimenti pratici in materia. Si è, inoltre, provveduto anche alla creazione di uno speciale logo per la pagina (Ibid.).

## 7. CAMPAGNE DI COMUNICAZIONE CONDOTTE DAGLI STUDENTI

Il presente capitolo presenta una serie di idee per la creazione di campagne di comunicazione da condursi all'interno delle scuole da parte degli studenti allo scopo di sensibilizzare e sensibilizzarsi sulle tematiche delle azioni preventive e della gestione dei rifiuti elettronici. Sono diverse le campagne di comunicazione che si possono condurre traendo spunto dalle conoscenze e dalle informazioni sui rifiuti elettronici, sul loro impatto ambientale, sulla loro raccolta, il loro riuso ed il loro riciclaggio e sui diversi modelli di business circolare fornite negli altri in altri capitoli di questo libro. I canali di comunicazione digitale sono quelli che si fanno preferire per la loro efficacia nel diffondere contemporaneamente un messaggio ad un ampio numero di consumatori. Ecco alcuni suggerimenti:

- Creare video informativi su YouTube.
- Creare un blog Instagram dedicato alla discussione di problematiche e tematiche riguardanti i rifiuti elettronici.

- Sfidare le aziende a migliorare i propri metodi di smistamento e gestione dei propri prodotti nelle fasi di fine vita attraverso LinkedIn.

Accertatevi che gli studenti abbiano consapevolezza di quali siano le finalità delle campagne di comunicazione e quali siano i gruppi target cui esse si rivolgono così da poterle adeguatamente tarare sulle loro caratteristiche. Quali sono gli ostacoli nella gestione dei rifiuti elettronici che intendono superare e come è possibile farlo? Chi può farlo?

Le campagne di comunicazione potranno essere, inoltre, abbinare a concorsi, per esempio, organizzando un concorso per la migliore campagna di comunicazione ed una serata di gala dedicata alla presentazione dei video-prodotti finali.

Se sono disponibili risorse, l'organizzazione di un concorso tra diverse scuole può essere l'occasione per un evento più grande ed ambizioso nel quale coinvolgere magari registi e/o organizzatori di campagne ed esperti di consumi invitandoli a far parte della giuria.

# BIBLIOGRAFIA

- The Guardian (2015). "China scraps quotas on rare earths after WTO complaint". Tratto da <https://www.theguardian.com/world/2015/jan/05/chi-na-scraps-quotas-rare-earth-wto-complaint>.
- Accenture (2016). Circular business models for WEEE. Lavoro realizzato per il Voluntary Agreement.
- Allwood, J. M. (2014). Capitolo 30 – Squaring the Circular Economy: The Role of Recycling within a Hierarchy of Material Management Strategies. Handbook of Recycling. E. Worrell and M. A. Reuter. Boston, Elsevier: 445-477.
- Avakian, M. (2014). "E-waste: An Emerging Health Risk". Consultato il 11-01-2019, 2019, su [https://www.niehs.nih.gov/research/programs/geh/geh\\_newsletter/2014/2/spotlight/](https://www.niehs.nih.gov/research/programs/geh/geh_newsletter/2014/2/spotlight/).
- Bakas, I., et al. (2016). Critical metals in discarded electronics. Mapping recycling potentials from selected waste electronics in the Nordic region. Denmark, Nordic Council of Ministers.
- Baldé, C. P., et al. (2017). The Global E-waste Monitor – 2017. Quantities, Flows, and Resources. Bonn/Ginevra/Vienna, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) and International Solid Waste Association (ISWA).
- Batteriåtervinningen (2018). "Skola." Consultato il 12.12.2018, su <https://www.batteriatervinningen.se/skola>.
- Batteriåtervinningen (2018). "Vad får jag spara på?". Consultato il 12.12.2018, su <http://www.batteriatervinningen.se/>.
- Baxter, J., et al. (2015). Nordic plastic value chains. Case WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment)/Policy brief.
- Baxter, J., et al. (2015). WEEE Plastics Recycling. A guide to enhancing the recovery of plastics from waste electrical and electronic equipment.
- Blybatteriretur (2018). "Om Blybatteriretur." Consultato il 12.12.2018, su <http://blybatteriretur.se/om-organisationen/>.
- Bristøl, L. M. L. (2015). Characterization and recovery of rare earth elements from electronic scrap. Materials Chemistry and Energy Technology, Norwegian University of Science and Technology. Tesi di laurea magistrale.
- Cato, J. (2017). "Raw Materials Used in the Manufacture of Electronic Components." Consultato il 09-01-2018, 2018, su <https://sciencing.com/raw-used-manufacture-electronic-components-8053265.html>.
- Chancerel, P. (2010). Substance flow analysis of the recycling of small waste electrical and electronic equipment - An assessment of the recovery of gold and palladium. Schriftenreihe des Instituts für Technischen Umweltschutz. Berlino, Technische Universität Berlin: 162.
- Chen, A., et al. (2011). "Developmental neuro-toxicants in e-waste: an emerging health concern." Environmental health perspectives 119(4): 431-438.
- Compound Interest (2015). "Elements of smart-phone." Consultato il 2019-01-14, 2019, su <https://binged.it/2soEklV>.
- EC (2018). "Waste Electrical & Electronic Equipment (WEEE)." Consultato il 2019-01-09, 2019, su [http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm).
- Ecodom (2012). Household WEEE generated in Italy - Analysis on volumes and consumer disposal behavior for waste electrical and electric equipment.
- Ecotic (2018). "Ecotic." Consultato il 13.12.2018, su <http://www.ecotic.es/>.
- Ecotic (2018). "Waste." Consultato il 13.12.2018, su <http://www.ecotic.es/en/252116/Waste.htm>.
- El-Kretsen (2018). "Butiksinsamling." Consultato il 12.12.2018, su <http://www.el-kretsen.se/butiksinsamling>.
- El-Kretsen (2018). "Insamling." Consultato il 12.12.2018, su <http://www.el-kretsen.se/insamling>.
- El-Kretsen (2018). "Om El-Kretsen." Consultato il 12.12.2018, su <http://www.el-kretsen.se/om-oss>.
- El-Kretsen (2018). "Serving business since 2001." Consultato il 12.12.2018, su <http://www.el-kretsen.se/english/producer-responsibility>.
- Ellen MacArthur Foundation (2017). "Building Blocks." Consultato il 10.12.2018, su <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/building-blocks>.

- Ercan, E. M. (2013). Global Warming Potential of a Smartphone Using Life Cycle Assessment Methodology. Stockholm. Tesi Magistrale Scientifica.
- Erdmann, L. and T. E. Graedel (2011). "Criticality of Non-Fuel Minerals: A Review of Major Approaches and Analyses." Environmental Science & Technology 45(18): 7620-7630.
- European Commission (2016). Briefing – EU legislation in progress. Circular economy package. Four legislative proposals on waste, European Union.
- European Commission (2017). "Critical Raw Materials/Third list of critical raw materials for the EU of 2017." 2018.
- European Commission (2018, 23.07.2018). "Circular Economy - implementation of the Circular Economy Action Plan." Consultato il 10.12.2018, su [http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm)
- European Commission (2018). "Ecodesign." Consultato il 07.12.2018, su [http://ec.europa.eu/growth/industry/sustainability/ecodesign\\_en](http://ec.europa.eu/growth/industry/sustainability/ecodesign_en)
- Commissione Europea (2018, 2018.01.15). "Waste Electrical & Electronic Equipment (WEEE)." Consultato il 2018.11.20, su [http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm).
- Commissione Europea (2018, 15.01.2018). "Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)." Consultato il 07.12.2018, su <http://di.dk/Site-CollectionDocuments/Milj%C3%B8/Nyheder/Sarabs%20mappe%20-%20nyheder/WEEE/Circular%20business%20models%20for%20WEEE%20final%20final.pdf>.
- European Law Monitor (2018). "What is? Key EU Terms." Consultato il 10.12.2018, su <https://www.europeanlawmonitor.org/what-is-guide-to-key-eu-terms/eu-legislation-what-is-an-eu-directive.html>
- EWRN (2017). WEEE2 – Definition and Understanding of the 6 Categories (15.08.2018).
- Fairphone (2018). "Fairphone 2." Consultato il 10.12.2018, su <https://shop.fairphone.com/en/?ref=header>.
- Fairphone (2018). "The modular phone that's built to last." Consultato il 09.10.2018, su <https://www.fairphone.com/en/>.
- Flickr (2009). "Xatarra i xinet." da [https://www.flickr.com/photos/art\\_es\\_anna/415400769](https://www.flickr.com/photos/art_es_anna/415400769).
- Geissdoerfer, M., et al. (2017). "The Circular Economy – A new sustainability paradigm?" Journal of Cleaner Production 143: 757-768.
- Guardian, T. (2015). "China scraps quotas on rare earths after WTO complaint ". da <https://www.theguardian.com/world/2015/jan/05/china-scraps-quotas-rare-earth-wto-complaint>.
- Hallå Konsument (2017, 14.07.2017). "Hem-elektronik." Consultato il 13.12.2018, su <https://www.hallakonsument.se/tips-for-olika-kop/ko-pa-och-hyra-produkter/hemelektronik/>.
- Harneis, J. (2007). "Mining in Kailo." Consultato il 2019-06-04, 2019, su [https://www.flickr.com/photos/julien\\_harneis/1872000955](https://www.flickr.com/photos/julien_harneis/1872000955).
- HSR (2018). "The Keep Sweden Tidy Foundation." Consultato il 12.12.2018, su <https://www.hsr.se/english>.
- Inrego (2018). "Inrego." Consultato il 09.12.2018 su [https://shop.inrego.se/?gclid=Cj0KC-QjAuf7fBRD7ARIsACqb8w4ecPNzBuunyrT54jLa-lBdOMC6novPrnNrJdKDOQVaxZZ-Y9ZZ4vJa-aAhI5EALw\\_wcB](https://shop.inrego.se/?gclid=Cj0KC-QjAuf7fBRD7ARIsACqb8w4ecPNzBuunyrT54jLa-lBdOMC6novPrnNrJdKDOQVaxZZ-Y9ZZ4vJa-aAhI5EALw_wcB).
- Kenneth E. Boulding (1966). "THE ECONOMICS OF THE COMING SPACESHIP EARTH ". Consultato il 15-11- 2018.
- Laurenti, R., et al. (2016). "Calculating the pre-consumer waste footprint: A screening study of 10 selected products." Waste Management & Research 35(1): 65-78.
- Litchfield, C. A., et al. (2018). "Recycling 115,369 mobile phones for gorilla conservation over a six-year period (2009-2014) at Zoos Victoria: A case study of 'points of influence' and mobile phone donations." PLOS ONE 13(12).
- Long J.T. (2012). "The Astounding Rise of Western Rare Earth Extraction: Jack Lifton "The Critical Metals Report".
- Mathieux, F., et al. (2017). Critical raw materials and the circular economy-Background report JRC Science-for-policy report. Lussemburgo.
- Ministerio para la transición ecológica (2015). "Spanish legislation on waste of electric and electronic equipments (WEEE): Royal Decree 110/2015 of 20 February." Consultato il 13.12.2018, su <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/apara-tos-electr/Royal-Decree-on-wastes-electro-nic-electric-equipments.aspx>.
- MIT (2016). "Environmental Risks of Mining. How they arise and how their effects can be mitigated." 2019-01-09,

da <http://web.mit.edu/12.000/www/m2016/finalwebsite/problems/mining.html>.

Modak, P. (2014). "The Mobile Mines." Consultato il 14-01-2019, 2019, su [https://prasadmodakblog.files.wordpress.com/2014/09/mobile\\_life\\_cycle.jpg](https://prasadmodakblog.files.wordpress.com/2014/09/mobile_life_cycle.jpg).

OECD (2018). "Fact Sheet: Extended Producer Responsibility." Consultato il 12.12.2018, su <http://www.oecd.org/env/waste/factsheetextendedproducerresponsibility.htm>.

Randers, J. (2012). 2052: A global forecast for the next forty years. Chelsea Green Publishing.

Recipo (2018). "Om oss." Consultato il 12.12.2018, su <https://recipo.se/om-oss/>.

REVAC AS (2019). "Recycling – WEEE." Consultato il 14-01-2019, 2019, from <https://www.revac.no/en/services/recycling-weee/>.

SGU (2018). "Vad är kritiska material?". Consultato il 2018-12-04.

Stockholm Vatten och Avfall (2018, 16.11.2018). "Ljuskällor och småelektronik." Consultato il 12.12.2018, su <http://www.stockholmvattenochavfall.se/avfall-och-atervinning/har-lamnar-du-dina-sopor/privatkund/har-lamnar-du-sopor/ljuskallor-och-sma elektronik/>.

SWA (2017). "Batterihold." Consultato il 2019-01-11, 2019, su <http://www.stockholmvattenochavfall.se/avfall-och-atervinning/har-lamnar-du-dina-sopor/privatkund/har-lamnar-du-sopor/batterihold/>.

Swappie (2018). "Hur fungerar tjänsten?". Consultato il 09.12.2018, su <https://swappie.com/se/hur-fungerar-tjansten/>.

Swedish EPA (2018, 05.06.2018). "Collection of waste electrical and electronic equipment (WEEE)." Consultato il 13.12.2013, su <http://www.swedishepa.se/Guidance/Guidance/Waste/Guidance-for-producers/Producers-electrical-and-electronic-equipment/Collection-of-waste-electrical-and-electronic-equipment-WEEE/>.

Swedish EPA (2018). "Producentansvar." Consultato 10.12.2018, su <https://www.naturvardsverket.se/Amnen/Producentansvar/>.

The Mozambique Resources Post (2016). "Africa Mining vs Environment: "South Africa has failed to protect locals from gold mine pollution" – Harvard report." Consultato il 2019-01-14, 2019, su <https://mozambiqueiningpost.com/2016/10/13/africa-mining-vs-environment-south-africa-has-failed-to-protect-locals-from-gold-mine-pollution-harvard-report/>.

TING, M. H. and J. SEAMAN (2013). "Rare Earths: Future Elements of Conflict in Asia?" Asian Studies Review 37(2): 234–252.

Torres, J., et al. (2018). ELAN - Elektronik ska återANvändas. Poject nr 42495-1, IVL Swedish Environmental Institute.

Tyresö kommun (2018). "El- och elektronikavfall." Consultato il 2019-01-11, 2019, su <https://www.tyreso.se/boende--miljo/avfall-och-atervinning/el-och-elektronikavfall.html>.

Wath, S. B., et al. (2011). "E-waste scenario in India, its management and implications." T. Environ Monit Assess 172(249).



**IVL SWEDISH ENVIRONMENTAL RESEARCH INSTITUTE LTD.**

P.O. Box 210 60

S-100 31 Stockholm

Sweden

Phone +46-(0)10-7886500

[www.ivl.se](http://www.ivl.se)