

GRUPPO DI LAVORO 4
“Catene di valore sostenibili
e circolari”

**L’economia circolare
nelle filiere industriali:
il caso Apparecchiature Elettriche
ed Elettroniche
(AEE)**

Rapporto di filiera
Volume 1/ Edizione 2022



RAPPORTO DI FILIERA 2022

**L'economia circolare nelle filiere industriali: il caso
Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche
(AEE)**

DOI 10.12910/DOC-2022-066

GRUPPO DI REDAZIONE

Curatori

**Chiara Cardenia e Marco Tamaro – ENEA
Grazia Barberio e Roberta De Carolis – ENEA
Giorgio Arienti, Luca Campadello ed Irene Pellucchi – ERION**

Autori

**Chiara Cardenia e Marco Tamaro – ENEA
Luca Campadello ed Irene Pellucchi – ERION
Emiliano Laudadio e Alessia Amato - Università Politecnica delle Marche,
Michela Santoro e Italo Soncini – Aura Materials L'Aquila
Massimo Aiello – Acea Ambiente Roma**

Contenuti

1	La piattaforma italiana degli stakeholder sull’Economia Circolare – ICESP	5
1.1	Il Gruppo di lavoro 4: Catene di valore sostenibili e circolare	5
1.1.1	<i>Sottogruppo Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche</i>	5
2	Il settore delle Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche	9
2.1	Da AEE a RAEE	9
2.2	Quadro normativo Nazionale e Comunitario	10
2.2.1	<i>L’Economia Circolare nell’Unione Europea</i>	11
2.3	La raccolta e la corretta gestione dei RAEE in Italia	12
2.3.1	<i>Gli attori e le procedure per la corretta gestione dei RAEE</i>	12
2.3.2	<i>I dati sulla raccolta in Italia</i>	14
2.3.3	<i>I flussi paralleli</i>	15
2.4	Complessità e difficoltà tecniche per l’uso di frazioni in uscita e materiali secondari	17
2.4.1	<i>Le plastiche</i>	17
2.5	Le Materie Prime Critiche	18
3	La transizione verso l’Economia Circolare: Buone Pratiche	20
3.1	L’applicazione dell’Economia Circolare nel settore AEE e nell’ambito dei RAEE	20
3.2	Priorità per il settore: la ricerca, la progettazione ed eco-design	30
3.2.1	<i>La fase di progettazione degli AEE - I materiali coinvolti</i>	31
3.2.2	<i>La fase di progettazione degli AEE - Design for disassembly</i>	38
3.2.3	<i>La fase di produzione delle apparecchiature elettroniche</i>	39
3.2.4	<i>La fase di utilizzo ed il risparmio energetico</i>	39
3.2.5	<i>Il fine vita dei prodotti</i>	40
3.2.6	<i>Progetti di innovazione: il caso studio della valorizzazione degli schermi LCD</i>	42
3.3	Priorità per il settore: le infrastrutture	44
3.3.1	<i>Tempistiche e processi autorizzativi</i>	44
3.3.2	<i>Scarsa redditività del trattamento RAEE</i>	44
3.3.3	<i>Garantire livelli costanti di approvvigionamento dei RAEE</i>	45

3.4	Le Buone Pratiche in Italia ed Europa	45
4	Conclusioni	55

1 La piattaforma italiana degli stakeholder sull'Economia Circolare – ICESP

La Piattaforma Italiana degli stakeholder sull'Economia Circolare – ICESP, nasce nel 2018 come piattaforma mirror della Piattaforma Europea degli stakeholder per l'economia circolare - ECESP (European Circular Economy Stakeholder Platform). L'obiettivo principale della piattaforma ICESP è di innescare, ispirare e supportare i processi di transizione circolare, creando un punto di convergenza nazionale sulle iniziative, le esperienze, le criticità, le prospettive che il sistema Italia vuole e può rappresentare in Europa in tema di economia circolare (www.icesp.it). Attualmente ICESP è composta da circa 300 organizzazioni che vedono coinvolti una pluralità di attori, tra cui Pubblica Amministrazione, imprese, mondo della ricerca e società civile.

1.1 Il Gruppo di lavoro 4: Catene di valore sostenibili e circolare

La Piattaforma Italiana degli stakeholder sull'Economia Circolare – ICESP è composta da 6 gruppi di lavoro (GdL), 2 GdL trasversali e dal Comitato di Revisione Buone Pratiche; in particolare il GdL 4 “**Catene di valore sostenibili e circolari**” coordinato da ENEA, ENEL e Università degli Studi di Torino, affronta la tematica della chiusura del ciclo nella catena del valore con approccio integrato per filiera/settore. La tematica affrontata dal GdL4 rientra nel quadro delle iniziative europee sull'economia circolare ed è allineata al focus sulle filiere sottolineato nel New Action Plan pubblicato dalla Commissione europea l'11 marzo 2020 ed alla “Strategia nazionale per l'economia circolare” in attuazione degli obiettivi del PNRR del primo Semestre 2022, approvata con il Decreto MITE n.259 del 24 giugno 2022. La catena del valore include tutte le fasi: progettazione, produzione distribuzione e consumo e fine vita. Il focus si concentra su singoli materiali (e.g. materie prime critiche), prodotti (e.g. imballaggi in plastica, RAEE, pneumatici, ecc.) e su specifiche catene di approvvigionamento (e.g. costruzioni, agro-industria, tessile, ecc.). Il GdL 4 è organizzato in sottogruppi relativi alle filiere individuate come strategiche per favorire la transizione verso l'economia circolare. I sottogruppi presenti sono:

- Costruzione e Demolizione
- Tessile, Abbigliamento e Moda
- Mobilità elettrica
- Agrifood
- Plastiche
- Apparecchiature elettriche ed elettroniche

Il GdL 4, attraverso il coinvolgimento attivo di tutti gli stakeholder, mira a raccogliere le buone pratiche già presenti sul mercato relative alla chiusura del ciclo nelle filiere, per identificare i gap e promuovere casi di successo replicabili, nonché individuare le azioni strategiche da implementare con modelli di business circolari che includano soluzioni inter-filiera.

1.1.1 Sottogruppo Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche

La normativa italiana con il Decreto Legislativo 14 marzo 2014, n. 49 in attuazione della Direttiva 2012/19/UE definisce Apparecchiature elettriche ed elettroniche (AEE) “*tutte le apparecchiature che dipendono, per un corretto funzionamento, da correnti elettriche o da campi elettromagnetici e le apparecchiature di generazione, trasferimento e misurazione di queste correnti e campi e progettate*”

per essere usate con una tensione non superiore a 1000 volt per la corrente alternata e a 1500 volt per la corrente continua”¹.

Sono AEE per esempio PC, smartphone, tablet, stampanti, TV, condizionatori, frigoriferi, lavatrici, lavastoviglie, ventilatori, sorgenti luminose, ma anche dispositivi di ultima generazione quali e-bike, monopattini elettrici, hoverboard, droni, auricolari bluetooth.

Sebbene le AEE abbiano permesso a gran parte della popolazione mondiale di beneficiare di un tenore di vita sempre più elevato, i maggiori tassi di consumo di AEE, dovuti principalmente ad un ricambio frequente delle apparecchiature e dalle poche e alquanto costose opzioni di riparazione, hanno alimentato l'elevata quantità di rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche – RAEE.

Il Dlgs 152/06 (TUA) e ss.mm.ii definisce i RAEE come rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche. Al fine di promuovere il recupero dei RAEE e ridurre la quantità e la pericolosità, tali rifiuti sono stati oggetto di una normativa specifica: prima la direttiva europea 2002/96/CE, introdotta nell'ordinamento italiano con il D.lgs. 151/05 e poi la direttiva 2012/19/UE recepita con D.Lgs. 49/2014, che ha introdotto diverse novità, tra cui l'inserimento dei pannelli fotovoltaici tra i RAEE e il ritiro *"uno contro zero"* dei RAEE di piccolissime dimensioni presso i distributori che presentano determinate caratteristiche. Dal 15 agosto 2018 è in vigore la nuova “categorizzazione” degli AEE prevista dalla Direttiva Europea 2012/19/CE e dal D. Lgs. 49/2014.

L'ingente richiesta di materie prime per la produzione di AEE, le emissioni di gas serra, la presenza di sostanze critiche e pericolose nei RAEE, che li rende dannosi per l'ambiente, rendono l'intera filiera un'opportunità dal punto di vista sia economico che ambientale. A fronte di ciò una corretta gestione dei RAEE con lo sviluppo di tecnologie di riciclo delle materie prime critiche e delle materie plastiche insieme alla migliore progettazione e durevolezza degli AEE sono state al centro di diversi tavoli europei per spingere l'intera filiera verso un approccio ancora più circolare considerando che ha già raggiunto un tasso di riciclo superiore all'85%.

In particolare, nel New Action Plan, le apparecchiature elettroniche e quelle delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (TIC) vengono considerate prodotti per i quali occorre un intervento urgente. È cruciale, per favorire una transizione circolare dell'intera filiera AEE, migliorare la progettazione dei prodotti per aumentare la vita utile, la possibilità per i consumatori di compiere scelte consapevoli, nonché sviluppare la raccolta e il trattamento dei rifiuti.^{2,3}

La gestione dei rifiuti elettronici è associata anche a molti Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs, Sustainable Development Goals) dell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, approvata dall'Assemblea Generale dell'ONU nel 2015.

In particolare, i rifiuti elettronici sono strettamente correlati agli indicatori sull'efficienza globale delle risorse (SDGs 8.4.1 e 12.1.1) e sul materiale domestico di consumo (SDGs 8.4.2 e 12.2.2), data l'elevata richiesta di materiale per la produzione degli AEE. Inoltre, poiché alcuni RAEE sono considerati rifiuti pericolosi, sono stati inseriti ufficialmente nel piano di lavoro del sotto-obiettivo 12.5.1: tasso di riciclaggio nazionale e tonnellate di materiale riciclato⁴.

¹ <https://www.normattiva.it/atto/caricaDettaglioAtto?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2014-03-28&atto.codiceRedazionale=14G00064&atto.articolo.numero=0&atto.articolo.sottoArticolo=1&atto.articolo.sottoArticolo1=10&qId=4b5a9d1b-e21d-4465-9497-972235545b97&tabID=0.09835405520777185&title=lbl.dettaglioAtto>

² Azione dell'UE e sfide esistenti in materia di rifiuti elettrici ed elettronici

³ https://www.iusinitinere.it/economia-circolare-definizione-e-politiche-europee-33885#_ftn28

⁴ <https://www.serveco.eu/rifiuti-elettrici-ed-elettronici-il-lento-cammino-verso-una-gestione-sostenibile-a-economia-circolare/>

In Italia, la Missione 2 “Rivoluzione verde e transizione ecologica” del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), approvato il 13 luglio 2021, prevede investimenti (59,46 mld di euro) che mirano a promuovere l’economia circolare attraverso iniziative faro in materia di raccolta differenziata dei rifiuti elettronici, plastici e tessili. Nello specifico, l’obiettivo della linea A è l’ammodernamento (anche con ampliamento di impianti esistenti) e la realizzazione di nuovi impianti per il miglioramento della raccolta, della logistica e del riciclo dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche⁵.

Nel giugno 2022 è stata approvata la Strategia Nazionale per l’Economia Circolare (SNEC,) e il Programma Nazionale Gestione Rifiuti (PNGR), due riforme previste dal PNRR che delineano il quadro programmatico di riferimento per la transizione ecologica del Paese, individuando le azioni, gli obiettivi e le misure da perseguire. La nuova strategia comprende misure per un nuovo sistema digitale di tracciabilità dei rifiuti, lo sviluppo di incentivazione fiscale per supportare l’utilizzo di materiali derivanti dalle filiere del riciclo, la previsione di una revisione del sistema di tassazione per rendere il riciclo più conveniente dello smaltimento in discarica, la promozione del diritto al riuso e alla riparazione, la riforma dei sistemi EPR (Responsabilità estesa del produttore) e dei Consorzi per supportare il raggiungimento degli obiettivi comunitari, il rafforzamento degli strumenti normativi esistenti (in particolare End of Waste e Criteri Ambientali Minimi) e l’applicazione di detti strumenti a settori strategici quali i rifiuti elettrici ed elettronici RAEE. La Strategia, inoltre, costituisce uno strumento fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica e definisce una roadmap di azioni e di target misurabili da qui al 2035⁶.

Il GdL 4 si è arricchito, da maggio 2021, della presenza del sottogruppo AEE in quanto tema centrale sia per l’Europa (Action Plan) che per l’Italia (PNRR e SNEC) per ridurre l’approvvigionamento delle materie prime, che continua a dimostrarsi un mercato complesso, a favore del recupero di materie prime seconde dagli AEE.

Le tematiche specifiche del nostro sottogruppo si basano su una visione integrata e di circolarità della filiera degli AEE e si possono riassumere in quattro punti centrali:

1. **ECODESIGN.** È essenziale affrontare il problema dal punto di vista della progettazione, ovvero della durabilità, riparabilità e della riutilizzabilità delle apparecchiature elettriche ed elettroniche. Centrale è anche il tema della visibilità e della comunicazione agli utilizzatori, per renderlo più efficace (servizi di riparazione, parti di ricambio) e per rendere evidente e concreto l’impegno che le aziende stanno mettendo nel tema;
2. **RACCOLTA.** In Italia attualmente vengono raccolti meno del 40% delle apparecchiature immesse sul mercato. Il target europeo è il 65% sull’impresso sul mercato calcolato sugli ultimi 3 anni delle vendite. Poiché l’Italia ha dei tassi di raccolta distanti dagli standard europei, è importante studiare l’infrastruttura della raccolta in una visione sistemica in grado di toccare sia aspetti infrastrutturali che psicologici e sociali;
3. **REMANUFACTURING.** Il processo industriale dovrebbe essere ripensato partendo da prodotti che possano essere riportati alla qualità del nuovo o superiori. Per fare ciò occorre avere una catena del valore estremamente qualificata (opportunità di lavoro per nuovi tecnici) che si basi non sull’estrazione di materie dagli AEE, ma sulla realizzazione di nuovi apparecchi utilizzando quelli già esistenti.
4. **INFRASTRUTTURE:** In Italia l’industria di riciclo delle materie prime critiche si ferma al primo livello, tutte le altre operazioni vengono svolte all’estero. Risulta fondamentale quindi andare alla

⁵ <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>

⁶ https://www.cdp.it/resources/cms/documents/CDP_ECONOMIA_CIRCOLARE_ITA.pdf

ricerca e alla raccolta di buone pratiche per cercare di tenere in Italia questo valore, disponendo di materiali da poter gestire per ridurre la dipendenza.

In particolare, come sottogruppo, registriamo purtroppo delle criticità nella chiusura del ciclo della filiera degli AEE che si concentrano, principalmente nella:

- Fase di progettazione
- Fase di raccolta dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche

Nei paragrafi successivi verranno analizzate le problematiche legate alle due fasi e verranno presentati casi studio per evidenziare elementi utili per la costruzione di una filiera che abbia come fine quello di favorire e alimentare la transizione circolare.

Le consultazioni del nostro sottogruppo hanno prodotto una fotografia “istantanea” di quanto sta avvenendo nella filiera AEE attraverso il punto di osservazione di ICESP, che non pretende di avere uno sguardo esaustivo della situazione italiana sul processo di transizione, ma che comunque comincia ad avere strumenti per conoscere e, soprattutto, comprendere e proporre soluzioni per procedere in maniera coerente ed efficace al processo di transizione.

2 Il settore delle Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche

2.1 Da AEE a RAEE

Il settore delle Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (AEE), comprende tutti gli oggetti che per funzionare dipendono dalla corrente elettrica, collegati alla rete oppure alimentati da pile e batterie, appartenenti a diverse categorie⁷:

- 1) Apparecchiature per lo scambio di temperatura;
- 2) Schermi, monitor ed apparecchiature dotate di schermi di superficie superiore a 100 cm²;
- 3) Lampade;
- 4) Apparecchiature di grandi dimensioni;
- 5) Apparecchiature di piccole dimensioni;
- 6) Piccole apparecchiature informatiche e per le telecomunicazioni (con nessuna dimensione esterna superiore a 50 cm).

La definizione tecnica di AEE viene riportata all'interno dell'Art. 4 lettera a del D.Lgs. 49/2014, la normativa principale in tema di RAEE (Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche) a livello nazionale:

Le AEE sono le apparecchiature che dipendono, per un corretto funzionamento, da correnti elettriche o da campi elettromagnetici e le apparecchiature di generazione, trasferimento e misurazione di queste correnti e campi e progettate per essere usate con una tensione non superiore a 1.000 volt per la corrente alternata e a 1.500 volt per la corrente continua ⁸.

Le Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche sono diventate indispensabili nelle società moderne e spesso il loro utilizzo rende più facile vivere la quotidianità. I livelli più elevati di reddito disponibile, la crescente urbanizzazione e mobilità, e l'ulteriore industrializzazione in alcune parti del mondo stanno portando a un aumento delle quantità di AEE in circolazione. Sempre più AEE sono impiegate anche nel settore in espansione dell'Internet degli oggetti o delle cose ("internet of thing" IoT), come i sensori o i dispositivi che rientrano nel concetto di "casa intelligente" o "città intelligente" ⁹. L'aumento continuo di richieste relative a questi strumenti ha portato ad un incremento della domanda di risorse e materie prime indispensabili per la loro creazione e funzionamento.

In media, il peso totale (esclusi i pannelli fotovoltaici) del consumo globale di AEE aumenta ogni anno di 2,5 milioni di tonnellate¹⁰.

Una volta terminata la loro funzione le apparecchiature elettriche ed elettroniche si trasformano in oggetti di cui ci si vuole liberare, obsoleti e che devono essere smaltiti. Questi apparecchi non più funzionanti vengono definiti RAEE, ovvero Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche. I RAEE si distinguono dagli altri rifiuti perché devono subire un trattamento dedicato in impianti specifici e si suddividono in due categorie principali: **Domestici** e **Professionali**¹¹.

⁷ <https://www.cdcaee.it/ae-e-raee/apparecchiature-elettriche-ed-elettroniche>

⁸ <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/75158-9343.pdf>

⁹ V. Forti, C.P. Baldé, R. Kuehr, G. Bel, The Global E-waste Monitor 2020, p.18

¹⁰ V. Forti, C.P. Baldé, R. Kuehr, G. Bel, The Global E-waste Monitor 2020, p.13

¹¹ <https://www.cdcaee.it/ae-e-raee/rifiuti-da-apparecchiature-elettriche-ed-elettroniche/>

Si definiscono **RAEE Domestici** tutti quei rifiuti generati da nuclei domestici, ma anche quelli derivanti da apparecchiature che possono essere utilizzate indifferentemente da nuclei domestici e da utenti professionali. I RAEE Domestici sono ripartiti in **cinque Raggruppamenti**:¹²

- 1) *Apparecchiature per lo scambio di temperatura con fluidi* (frigoriferi, condizionatori, congelatori ecc.)
- 2) *Grandi Bianchi* (piani cottura, stufe elettriche e forni, lavatrici, lavastoviglie ecc.)
- 3) *Televisori e Monitor* (televisori e schermi piatti, televisori a tubo catodico, cornici digitali ecc.)
- 4) *Piccoli elettrodomestici, elettronica di consumo, apparecchi di illuminazione* (aspirapolvere, macchine per cucire, stampanti, ferro da stiro, apparecchi radio ecc.)
- 5) *Sorgenti luminose* (lampade a scarica, lampade fluorescenti, tubi al neon, lampadine a led ecc.)

Al contrario, vengono definiti **RAEE Professionali** i rifiuti derivanti da apparecchiature progettate con funzioni e caratteristiche tali da essere utilizzabili solo da professionisti o da aziende. Esempi di **RAEE Professionali** possono essere radiografi, ecografi e tutti i dispositivi medicali professionali; banco-frigo, bancomat, distributori automatici di cibi e bevande, lavatrici industriali, stampanti professionali e grandi sistemi di climatizzazione¹³.

Questi rifiuti rappresentano nello stesso tempo una fonte di inquinamento e una risorsa di materiali utili e recuperabili per usi successivi. Diverse categorie di RAEE, infatti, contengono materiali altamente nocivi per l'ambiente e la salute dell'uomo e proprio per questo motivo devono essere gestiti seguendo regole ben precise e in impianti altamente specializzati.

Dai RAEE è possibile recuperare metalli ferrosi e non ferrosi (alluminio, rame, ecc.), metalli preziosi, plastiche, vetro, parti elettroniche che, se opportunamente trattate, possono dare vita ad altri oggetti e rientrare quindi nel ciclo produttivo.

In passato l'aspetto economico ha prevalso su quello ambientale e spesso il ciclo di recupero e smaltimento è stato effettuato senza le più elementari misure di sicurezza.

2.2 Quadro normativo Nazionale e Comunitario

L'elemento cardine dell'impianto normativo nazionale rispetto ai Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche è il Decreto Legislativo 14 marzo 2014 n°49, che recepisce la Direttiva Europea sui RAEE 2012/19/UE entrata in vigore il 13 agosto 2012 e fondata sul principio del "chi inquina paga" ovvero il principio della Responsabilità Estesa del Produttore (EPR) che attribuisce ai produttori di AEE la responsabilità del corretto trattamento, recupero e smaltimento dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche¹⁴.

Il D. Lgs. 49/2014 disciplina la gestione e il corretto trattamento dei RAEE e identifica il target di raccolta a cui devono tendere i Paesi europei a partire dal 2019: il 65% del peso medio delle apparecchiature elettriche ed elettroniche immesse sul mercato nei tre anni precedenti¹⁵.

Le finalità del D.Lgs. 49/2014 sono volte a stabilire misure e procedure per la protezione dell'ambiente e della salute umana. All'interno dell'Art. 1, infatti, sono descritte le azioni concrete che determinano il raggiungimento di questi obiettivi: prevenendo o riducendo gli impatti negativi

¹² Erion, *Bilancio di Sostenibilità 2021*, p.13

¹³ Ivi, p.14

¹⁴ ECODOM, *Rapporto di Sostenibilità*, 2019, p.19

¹⁵ <https://www.cdcreae.it/aee-e-raee/rifiuti-da-apparecchiature-elettriche-ed-elettroniche>

derivanti dalla progettazione e dalla produzione delle apparecchiature elettriche ed elettroniche¹⁶, nonché riducendo gli impatti negativi e migliorando l'efficacia dell'uso delle risorse per conseguire obiettivi di sviluppo sostenibile¹⁷.

Nel Decreto viene riportato l'ambito di applicazione delle disposizioni ivi contenute e che riguardano tutte le apparecchiature elettriche ed elettroniche¹⁸. A partire dal 15 agosto 2018 è stato introdotto un allargamento rispetto al primo ambito di applicazione della normativa sui RAEE, con riferimento alla categorizzazione degli AEE come mostrato in Figura 1.

ALLEGATO I	ALLEGATO III	
1 GRANDI ELETTRODOMESTICI	1 APPARECCHIATURE PER LO SCAMBIO DI TEMPERATURA	
2 PICCOLI ELETTRODOMESTICI		
3 APPARECCHIATURE INFORMATICHE E PER LE TELECOMUNICAZIONI		2 SCHERMI, MONITOR ED APPARECCHIATURE DOTATE DI SCHERMI DI SUPERFICIE SUPERIORE A 100 CM2
4 APPARECCHIATURE DI CONSUMO E PANNELLI FOTOVOLTAICI		3 LAMPADE
5 APPARECCHIATURE DI ILLUMINAZIONE		4 APPARECCHIATURE DI GRANDI DIMENSIONI
6 STRUMENTI ELETTRICI ED ELETTRONICI		5 APPARECCHIATURE DI PICCOLE DIMENSIONI
7 GIOCATTOLE E APPARECCHIATURE PER IL TEMPO LIBERO E LO SPORT		6 PICCOLE APPARECCHIATURE INFORMATICHE E PER LE TELECOMUNICAZIONI (CON NESSUNA DIMENSIONE ESTERNA SUPERIORE A 50 CM)
8 DISPOSITIVI MEDICI		
9 STRUMENTI DI MONITORAGGIO E DI CONTROLLO		
10 DISTRIBUTORI AUTOMATICI		

Figura 1. Confronto delle categorie di AEE, prima e dopo il cambiamento introdotto dall' Open Scope del 15 agosto 2018

Tale novità determina l'inclusione nell'ambito di applicazione del Decreto di un maggior numero di prodotti, e proprio da questo punto di vista l'introduzione dal 15 agosto dall'Allegato III risulta sostanziale, perché molti AEE che prima non trovavano collocazione in nessuna delle 10 categorie dell'allegato I, ora trovano certamente collocazione nella categoria 4,5 o 6 dell'Allegato III¹⁹. Ciò comporta un aumento delle quantità di AEE immesse sul mercato e delle relative quantità di RAEE che devono essere raccolte.

Il continuo consumo di risorse per la produzione e la conseguente creazione di rifiuti hanno portato l'Unione Europea a introdurre una serie di iniziative volte a rendere lo stile di produzione sempre più sostenibile. Ridurre i consumi e limitare quanto più possibile la perdita di risorse è l'assioma che introduce il concetto di Economia Circolare, un modello nuovo che intende superare il tradizionale modello di economia lineare basato su "prendi-usa-getta".

2.2.1 L'Economia Circolare nell'Unione Europea

Il 18 aprile 2018 il Parlamento Europeo ha approvato il Pacchetto sull'Economia Circolare che contiene una serie di disposizioni volte a promuovere la transizione verso un'economia circolare. I

¹⁶ D. Lgs. 49/2014, Art.1-a

¹⁷ Ivi, Art. 1-b

¹⁸ Ivi, Art. 2

¹⁹ *Disciplina dei RAEE: novità normative in vigore dal 15 agosto 2018* in <https://www.arpa.veneto.it>

provvedimenti, di rilevanza ambientale e socioeconomica, riguardano tematiche di grande interesse per l'intero settore dei rifiuti, tra cui quello dei RAEE.

Le quattro Direttive presenti nel Pacchetto Economia Circolare presentato dall'Unione Europea modificano le sei precedenti Direttive riguardo: rifiuti, imballaggi, discariche, rifiuti elettrici ed elettronici e pile, veicoli fuori uso. Fanno parte del Pacchetto:

- La Direttiva 2018/851, che modifica la Direttiva 2008/98/CE relativa ai rifiuti;
- la Direttiva 2018/852, che modifica la Direttiva 1994/62/CE sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio;
- la Direttiva 2018/850, che modifica la Direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti;
- la Direttiva 2018/849 (di cui l'Art.1 modifica la Direttiva 2000/53/CE relativa ai veicoli fuori uso e gli Articoli 2 e 3 modificano la Direttiva 2006/66/CE relativa a pile e accumulatori e ai rifiuti di pile e accumulatori e la Direttiva 2012/19/UE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche).

Nello specifico la Direttiva 2018/849 (Art. 2 e 3) modifica la precedente 2012/19/UE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche. Nel 2020 l'Italia ha recepito le Direttive europee, traducendole nell'ordinamento nazionale, varando il Decreto legislativo 118/2020 per l'ambito dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche e rifiuti di pile e accumulatori. Il nuovo Decreto legislativo, entrato in vigore il 27 settembre 2020 fornisce, nello specifico, nuove disposizioni in tema di comunicazione dei dati e dispone nuove regole in tema di RAEE derivanti da fotovoltaico.

2.3 La raccolta e la corretta gestione dei RAEE in Italia

A partire dalla Direttiva Europea 2012/19/UE del Parlamento Europeo ogni Stato membro ha accolto, a livello nazionale, la Direttiva adottando un modello normativo ed organizzativo che potesse essere conforme alle disposizioni comunitarie.

2.3.1 Gli attori e le procedure per la corretta gestione dei RAEE

Per quanto riguarda l'Italia, il Sistema RAEE si basa su un modello che coinvolge diversi attori, ciascuno con responsabilità specifiche, uniti dal medesimo obiettivo: quello di poter collaborare in ottica di economia circolare per favorire lo sviluppo sostenibile del settore dei rifiuti elettrici ed elettronici²⁰.

Nel contesto italiano per la gestione dei RAEE, i produttori possono adempiere ai propri obblighi attraverso due modalità²¹:

- in *forma individuale* attraverso i Sistemi Individuali, ovvero organizzando un sistema autosufficiente operante in modo uniforme sull'intero territorio nazionale;
- in *forma collettiva* attraverso i Sistemi Collettivi, organizzandosi quindi in Consorzi senza scopo di lucro, di cui finanziano le attività, operanti in modo uniforme sull'intero territorio nazionale.

Per la gestione dei RAEE Domestici, i produttori di AEE al momento della vendita inseriscono nel costo dell'elettrodomestico o dell'apparecchio elettronico anche il costo della gestione dello smaltimento (eco-contributo) che avviene tramite i Sistemi Individuali oppure i Sistemi Collettivi, che si occupano di gestire il ritiro, il trasporto, il trattamento e il recupero dei RAEE, nel rispetto delle indicazioni del Decreto e delle regole stabilite dal Centro di Coordinamento RAEE.

²⁰ <https://www.cdcrree.it/sistema-raee/funzionamento-del-sistema-raee>

²¹ Erion, *Bilancio di Sostenibilità 2021*, p.42

Il Centro di Coordinamento RAEE (CdCRAEE) è l'organismo che si occupa di ottimizzare la gestione dei RAEE in Italia. È un Consorzio privato, partecipato da tutti i Sistemi Collettivi, che opera sotto la vigilanza dei Ministeri per la Transizione Ecologica e dello Sviluppo Economico²².

Il CdCRAEE coordina l'attività di tutti i Sistemi Collettivi, assegnando loro i Punti di Prelievo da cui ritirare i RAEE sulla base delle rispettive quote di mercato in ciascun Raggruppamento e verificando le performance ambientali degli impianti di trattamento. Tutti i Sistemi Collettivi sono obbligatoriamente associati al Centro di Coordinamento RAEE e si differenziano tra loro per tipologia di RAEE gestiti, forma giuridica e quota di mercato rappresentata²³.

I Punti di Prelievo sono punti fisici in cui vengono stoccati i RAEE dei diversi Raggruppamenti all'interno di un Luogo di Raggruppamento (LdR) o in un Centro di Raccolta (CdR). In un LdR o in un CdR possono esistere fino a cinque Punti di Prelievo (PdP), uno per ogni singolo Raggruppamento²⁴.

I cittadini o i consumatori devono raccogliere in modo separato le proprie apparecchiature elettriche ed elettroniche non più funzionanti o di cui non hanno più bisogno e possono conferirle gratuitamente ad un centro di raccolta comunale o a rivenditore di AEE secondo due modalità: *1 contro 1* oppure *1 contro 0*.

Il ritiro *1 contro 1* è una modalità che prevede il ritiro a titolo gratuito e assicurato da parte di tutti i distributori al momento della fornitura di una nuova apparecchiatura equivalente, di qualunque tipologia. Il ritiro *1 contro 0* invece, permette il ritiro, a titolo gratuito, senza obbligo di acquisto di nuove AEE, dei "piccolissimi" RAEE Domestici (cioè con dimensione inferiore a 25 cm) da parte dei distributori con superfici di vendita di AEE superiori ai 400 m².²⁵

I cittadini possono usufruire dei Centri di Raccolta (CdR) del loro Comune per conferire in modo corretto i loro RAEE. I CdR sono i luoghi dedicati alla raccolta dei RAEE e iscritti al portale del Centro di Coordinamento RAEE, realizzati e gestiti dai Comuni e dalle Aziende abilitate alla gestione dei rifiuti urbani in maniera conforme al Decreto Ministeriale n.185 del 25 settembre 2007 e s.m.i. i CdR sono aperti a tutti i cittadini e alla distribuzione che possono conferire gratuitamente i RAEE Domestici.

I Sistemi Collettivi ritirano i RAEE dai CdR e dai LdR, e li trasportano (avvalendosi di fornitori di logistica) presso gli impianti di trattamento che consentono di trattare, attraverso diversi processi (selezione, separazione, lacerazione e triturazione), i rifiuti elettrici ed elettronici con l'obiettivo finale di produrre materiale finito (Materie Prime Seconde) destinato alle industrie di trasformazione o reintrodotti in nuovi processi produttivi. Le frazioni in uscita dal trattamento meccanico dell'impianto seguono percorsi differenti: una piccola parte che non può essere utilizzata è destinata allo smaltimento termico o alla discarica; i metalli come ferro, rame e alluminio, molto appetibili sul mercato, vengono indirizzati verso le fonderie dove sono fusi e forgiati per essere nuovamente utilizzati. Alcune frazioni che non possono essere usate per la creazione di nuovi prodotti, ma che hanno ancora un valore, sono inviate alla valorizzazione energetica per produrre energia. Infine, alcune componenti preziose come batterie e circuiti stampati sono inviati principalmente all'estero, in impianti speciali di trattamento in grado di lavorarle.

²² <https://www.cdcaee.it/sistema-raee/funzionamento-del-sistema-raee>

²³ Fondazione per lo sviluppo sostenibile, FISEUNICIRCULAR, Unione imprese economia circolare, *L'Italia del riciclo*, 2021, p. 124-125

²⁴ Erion, *Bilancio di Sostenibilità 2021*, p.42

²⁵ Ivi, p.44

L'attività di trattamento dei RAEE Domestici per i Sistemi Collettivi può essere svolta solo da impianti di trattamento certificati dal CdCRAEE, ossia centri specializzati che rispettano i requisiti previsti dall' Accordo di Programma sull'adeguato trattamento dei RAEE²⁶.

Per i RAEE Professionali, invece, la normativa prevede che ciascun Produttore debba farsi carico della gestione dei rifiuti derivanti dalle proprie AEE immesse sul mercato. Spesso però, a causa del tempo trascorso dal momento dell'acquisto a quando l'apparecchiatura diventa rifiuto o per l'elevato valore del rifiuto stesso, l'utilizzatore finale non chiama in causa il produttore, preferendo gestire il RAEE per proprio conto. Questo fa sì che nel settore dei RAEE Professionali le quantità raccolte in modo "ufficiale" siano molto modeste²⁷.

2.3.2 I dati sulla raccolta in Italia

Secondo quanto descritto dal Centro di Coordinamento RAEE per l'anno 2021 nel proprio "Rapporto Gestione RAEE 2021" le tonnellate di RAEE inviate a recupero sono state 510.000, il 6,6% in più rispetto ai quantitativi dichiarati nel 2020. Di questi, quasi il 77% dei volumi trattati, corrispondente a 392.347 tonnellate, proviene da nuclei domestici, con un incremento della raccolta del 6,2% rispetto al 2020. Il restante 23,1%, pari a 118.000 tonnellate, è riconducibile a RAEE di origine professionale. Il totale raccolto ha evidenziato una crescita, con un incremento dell'8% rispetto all'anno precedente. I dati forniti dagli impianti di trattamento dei RAEE al Centro di Coordinamento consentono di monitorare l'andamento del nostro Paese rispetto ai target di raccolta fissati dall'Unione Europea. Dal 2019 il target è del 65% ed è da intendersi come rapporto tra i RAEE raccolti nell'anno di riferimento e la media delle apparecchiature elettriche ed elettroniche (AEE) immesse sul mercato nel triennio precedente. In Italia, per l'anno 2021, il tasso di raccolta si è attestato al 34,56%, distante oltre 30 punti percentuali dal target europeo²⁸.

Nonostante l'aumento della raccolta, ciò che emerge dall'analisi è un forte divario fra diverse zone d'Italia. Nord, Centro, Sud sono tre aree del Paese che registrano tre andamenti nella raccolta dei RAEE differenti, al cui interno, accanto a situazioni di eccellenza, troviamo criticità preoccupanti. In generale, le regioni del Sud Italia rientrano in una macroarea dove raccolta differenziata e circolarità hanno un impatto minore, nonostante anche qui vi sia stata una crescita rispetto al 2020.

Le regioni del Nord Italia raggiungono i 7,28 kg/abitante, mentre il Centro si attesta a 6,56 kg/abitante, seguito dal Sud Italia che arriva a 5,14 kg/abitante e si conferma la zona con l'incremento in assoluto più importante in termini di volumi raccolti (+7,2%). In termini di raccolta pro capite la Valle D'Aosta si conferma ancora una volta al primo posto, mentre la Campania rimane in ultima posizione²⁹.

Il ruolo delle istituzioni nel garantire, facilitare e monitorare un corretto svolgimento di questo processo è fondamentale ma, per poter raggiungere gli obiettivi sperati, occorre aumentare la consapevolezza dei singoli cittadini attraverso campagne di sensibilizzazione per diffondere maggiormente la cultura del riciclo, incentivando il corretto conferimento dei RAEE ed efficientando le infrastrutture della rete della raccolta, incrementando il numero di Centri di Raccolta disponibili sul tutto il territorio nazionale.

Per stimolare scelte sostenibili è quindi necessario promuovere il cambiamento culturale a partire dai cittadini ed un esempio è il progetto pilota di InnoWEEE a Cava de' Tirreni³⁰ (progetto realizzato

²⁶ Erion, *Bilancio di Sostenibilità 2021*, p.44

²⁷ Ivi, p.45

²⁸ <https://www.recoverweb.it/oltre-510mila-tonnellate-di-raee-recuperate-dagli-impianti-di-trattamento-nel-2021>

²⁹ <https://www.cdcaee.it/rapporto-annuale-2021>

³⁰ <http://www.innoweee.eu/it>

da ENEA insieme ad Erion e ad altri partner di progetto, BetterPoints Ltd, DEDAGROUP SpA e Fondazione Bruno Kessler).

La campagna è stata rivolta a tutta la popolazione (quasi 53mila abitanti) e ha fatto leva sull'installazione – in quattro punti cruciali della città – di Smart Bin per la raccolta di RAEE del Raggruppamento R4, pile portatili e lampadine a fine vita.

Il progetto pilota ha contribuito un incremento del conferimento dei RAEE avviati alla loro valorizzazione (da 2,6 kg/abitante nel 2018 a 3,4 kg/abitante nel 2020) ed un allungamento della vita delle AEE usate, il tutto in linea con i principi della sostenibilità e dell'economia circolare. Attraverso questa sperimentazione è stato raggiunto l'obiettivo di incentivare l'adozione di comportamenti più ecosostenibili, aumentando la consapevolezza dei cittadini rispetto alla corretta gestione dei RAEE. Inoltre, i contenitori sviluppati appositamente per il progetto hanno permesso ai cittadini di ricevere buoni sconto da spendere presso esercizi commerciali convenzionati e ottenere informazioni ambientali relative al conferimento dei propri rifiuti.

Il progetto è terminato nel 2021, ma la sua realizzazione e il suo successo hanno comunque consentito, grazie ad un accordo tra ENEA e l'azienda municipalizzata del comune di Cava dei Tirreni, l'integrazione della raccolta dei RAEE, mediante l'impiego degli Smart Bin, nella raccolta dei rifiuti comunali. Oltre al progetto pilota realizzato in Campania, è stato avviato un percorso di sensibilizzazione nelle scuole del Trentino, per bambini, le loro famiglie e i docenti. Fuori dal contesto nazionale, InnoWEEE è stato messo in pratica anche tra Bath e il North East Somerset nel Regno Unito, indice questo di una concreta possibilità di esportazione del modello in più contesti e luoghi.

2.3.3 I flussi paralleli

Le statistiche mondiali relative ai rifiuti elettrici ed elettronici mostrano tassi di raccolta e trattamento di questi rifiuti più elevati nell'Unione Europea che in gran parte del resto del mondo. Secondo quanto rilevato dal Global E-Waste Statistics Partnership, l'Europa (costituita dai paesi UE e non-UE) è il continente che registra la maggior produzione di rifiuti elettrici ed elettronici pro capite (16,2 kg), ma è anche la regione del mondo con i più alti tassi di raccolta e riciclaggio dei RAEE³¹.

Tuttavia, la raccolta, il riciclaggio e il riutilizzo di questi rifiuti non sono realizzati con pari efficacia in tutti gli Stati membri e per raggiungere il target europeo, entrato in vigore nel 2019, è necessario applicare e far rispettare in maniera più stringente le regole, per poter valorizzare in maniera corretta la filiera dei RAEE.

Nei RAEE ci sono sostanze pericolose per l'ambiente e per la salute umana: ritardanti di fiamma bromurati, metalli pesanti, come il piombo e il mercurio; ma anche materiali strategici per molte produzioni industriali, come l'indio e il palladio, metalli preziosi come il rame, l'oro e l'argento, materiali che hanno quotazioni di mercato molto alte e sono soggette a forti variazioni. Non è difficile pensare che i rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche possano essere oggetto di cannibalizzazione da parte del mercato clandestino che opera eliminando componenti inquinanti, abbandonandoli nell'ambiente, e trattenendo le componenti di valore e i metalli preziosi, affinché vengano sottratti all'economia legale del riciclo³².

La gestione da parte di operatori informali, autorizzati, ma che lavorano sotto lo standard predefinito e il trattamento non conforme dei rifiuti elettrici, rappresenta una seria minaccia ambientale e sociale.

³¹ <https://globalewaste.org/country-sheets>

³² L. Biffi, S. Ciafani, F. Dodaro e A. Pergolizzi (Osservatorio ambiente e legalità di Legambiente); C. Ceglie, F. Longoni, L. Lorusso (CdCRAEE), *I pirati dei Raee. Dall'analisi dei fenomeni d'illegalità nella raccolta, gestione e riciclo dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche alle attività di prevenzione e di contrasto*, 2014, p.21

Queste sono solo due delle difficili situazioni riscontrate fino ad oggi che si aggiungono allo smaltimento “selvaggio” dei RAEE, ovvero quello che produce discariche abusive, e quello definito “domestico” che getta i RAEE nei cassonetti della raccolta indifferenziata o li dimentica nelle cantine dei condomini³³. La carenza di controlli adeguati si riflette anche su un’altra grande problematica della gestione dei RAEE, quella dei traffici illegali. I rifiuti elettrici ed elettronici, una volta privati delle parti di valore, vengono scaricati illegalmente senza preoccuparsi delle sostanze tossiche, oppure vengono inviati in paesi fuori UE, dove secondo i regolamenti internazionali è vietato esportare rifiuti pericolosi³⁴.

Nonostante la Convenzione di Basilea del 1992 stabilisca che i rifiuti elettronici non possono uscire dai confini dei paesi OCSE, la realtà è un’altra: moltissimi container pieni di rifiuti di apparecchiature elettroniche fuori uso, vengono imbarcati e spediti dai porti dei Paesi più sviluppati verso Paesi in via di sviluppo. La meta principale dei rifiuti elettronici di provenienza europea è il Ghana, dove migliaia di persone lavorano nell’industria non autorizzata dei RAEE. I dispositivi rotti, non più funzionanti, finiscono nelle discariche locali come quella di Agbogbloshie, un’area all’interno della capitale Accra, dove uomini e bambini estraggono con metodi nocivi per l’ambiente e la salute rame, alluminio e altri materiali destinati a tornare, tramite il lavoro di intermediari, nelle industrie e alle raffinerie dei paesi più ricchi. Le plastiche o altri materiali di scarto rimangono in discarica o finiscono nel fiume e in mare³⁵. Si segnala che negli ultimi anni l’impegno di ONG estere e locali e diverse imprese sociali sta lentamente migliorando le condizioni di vita della comunità e risanando l’ambiente circostante.

Nel 2019 Erion e Altroconsumo hanno realizzato un progetto di tracciamento dei rifiuti elettrici attraverso l’installazione di un dispositivo GPS. L’iniziativa ha coinvolto 200 volontari in tutta Italia che hanno contribuito fornendo un loro elettrodomestico, ormai in disuso, alla causa. Su ciascun elettrodomestico in partenza da casa dei volontari è stato installato un trasmettitore di segnale GPS, alimentato a batteria, che ha segnalato la posizione dei rifiuti lungo tutto il loro percorso verso gli impianti di riciclo. Attraverso una piattaforma di geolocalizzazione è stato possibile seguire il viaggio dei RAEE e verificare la destinazione da loro raggiunta. Dei 174 dispositivi che hanno potuto essere tracciati in maniera corretta, e quindi validi per l’analisi, il 62% è giunto al corretto traguardo di trattamento ed è stato giudicato positivamente ai fini dell’inchiesta. Il restante 38% non ha avuto esito positivo, poiché i RAEE non hanno terminato il loro percorso in impianti autorizzati al trattamento, non raggiungendo un corretto fine vita. Il risultato, che statisticamente non è significativo, ha comunque evidenziato che alcune quantità di RAEE finiscono in mani sbagliate, che non garantiscono un corretto trattamento. Ogni volta che un RAEE, avviato a smaltimento, viene sottratto al suo percorso ideale perché intraprende un tragitto errato, si verifica una perdita con conseguenti impatti ambientali negativi. Dai dati dell’inchiesta, relativi ai percorsi dei RAEE, emerge che quest’ultimi sono sottratti alla filiera del riciclo e che alcuni operatori non gestiscono nella maniera corretta i flussi dei rifiuti di apparecchiature elettroniche conferendoli a rottamai senza

³³ L. Biffi, S. Ciafani, F. Dodaro e A. Pergolizzi (Osservatorio ambiente e legalità di Legambiente); C. Ceglie, F. Longoni, L. Lorusso (CdCRAEE), *I pirati dei Raae. Dall’analisi dei fenomeni d’illegalità nella raccolta, gestione e riciclo dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche alle attività di prevenzione e di contrasto*, 2014, p.12

³⁴ Regolamento (CE) n. 1013/2006, decisione C (2001)107/Final dell’OCSE, articolo 36, e Convenzione di Basilea sul controllo dei movimenti transfrontalieri di rifiuti pericolosi e del loro smaltimento, allegato VII.

³⁵ J. Ottaviani, *La repubblica dei rifiuti elettronici*, s.d, Internazionale

scrupoli che, per avvantaggiarsi economicamente, non si curano delle conseguenze ambientali negative di un'attività di trattamento focalizzata solamente al recupero dei metalli.³⁶

Per eliminare il fenomeno dei flussi paralleli e dei traffici illegali dei RAEE è necessario informare i consumatori dei vantaggi di una corretta filiera del riciclo dei RAEE, rifiuti contenenti sostanze critiche, troppo spesso sottovalutati nel loro potenziale danno ambientale e aumentare i controlli lungo tutta la filiera che si occupa di rifiuti elettronici in modo tale che il suo operato sia realmente orientato al riciclo e all'ottimizzazione del trattamento e non solo alla massimizzazione dei profitti. Inoltre, risulta necessario un maggiore coordinamento tra le diverse forze impegnate nella lotta ai traffici di rifiuti, sia a livello nazionale che internazionale. Introdurre importanti modifiche legislative affinché norme efficaci e più stringenti possano aiutare i funzionari incaricati a potenziare la loro azione di contrasto e applicare sanzioni certe contro i canali nazionali informali e il traffico internazionale di RAEE³⁷.

2.4 Complessità e difficoltà tecniche per l'uso di frazioni in uscita e materiali secondari

Secondo quanto rilevato dalle associazioni che rappresentano gli impianti di trattamento dei RAEE sia a livello nazionale (tra cui ASSORAE) che europeo, le imprese del riciclo dei RAEE si trovano a fronteggiare due forti criticità che, se non dovessero essere risolte nel breve periodo, potrebbero arrivare a minare la sostenibilità economica delle imprese e la loro capacità di trattamento: gestione delle batterie al litio presenti nei RAEE e incremento esponenziale dei costi di gestione delle frazioni residuali e non ulteriormente riciclabili o recuperabili³⁸.

Inoltre, per quanto riguarda i componenti valorizzabili, la naturale evoluzione del mercato, particolarmente influenzata dalla necessità di economie di scala e quindi di alti volumi di raccolta, ha fatto sì che la maggior parte di questi materiali vengano inviati all'estero.

Nell'ambito dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche le frazioni residuali sono diverse: poliuretano, plastiche bromurate, polveri fluorescenti, condensatori e incidono in maniera considerevole sui costi di trattamento. Negli ultimi anni la difficoltà di gestire queste frazioni è accresciuta ulteriormente, evidenziando come i pochi impianti in grado di trattarle abbiano innalzato i costi mettendo in crisi la sostenibilità delle imprese di trattamento di RAEE e la loro operatività. Sarebbe opportuno adeguare il sistema impiantistico nazionale con lo scopo di aumentare le capacità (di volumi e di tecnologie) di trattamento e ridurre il fenomeno della dipendenza dall'estero per la gestione delle frazioni residuali, garantendo maggiore sostenibilità alle attività delle imprese interessate³⁹.

2.4.1 Le plastiche

Tra le frazioni, le materie plastiche dei RAEE costituiscono una particolare sfida per il riciclaggio a causa della diversità dei polimeri che le compongono, che rende complesso l'obiettivo di ottenere frazioni omogenee e pulite riutilizzabili e della presenza, in alcune plastiche, di additivi come i

³⁶ Erion-Altroconsumo, *Inchiesta RAEE-Monitoraggio di grandi elettrodomestici dalle case dei cittadini agli impianti di trattamento*, 2019.

³⁷ L. Biffi, S. Ciafani, F. Dodaro e A. Pergolizzi (Osservatorio ambiente e legalità di Legambiente); C. Ceglie, F. Longoni, L. Lorusso (CdCRAEE), *I pirati dei Raae. Dall'analisi dei fenomeni d'illegalità nella raccolta, gestione e riciclo dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche alle attività di prevenzione e di contrasto*, 2014, p.32-33

³⁸ Fondazione per lo sviluppo sostenibile, FISEUNICIRCULAR, Unione imprese economia circolare, *L'Italia del riciclo*, 2021, p. 129

³⁹ Ivi, p. 130

ritardanti di fiamma bromurati che comporta la necessità di un ulteriore processo di separazione per massimizzare la componente riciclabile della plastica stessa. Inoltre, queste tipologie di plastiche possono contenere composti organici ed inorganici pericolosi per la salute umana⁴⁰.

La frazione plastica dei rifiuti di grandi elettrodomestici è costituita principalmente da: polipropilene (PP), polistirene (PS), polistirene ad alto impatto (HIPS), poliuretano (PU) e acrilonitrile-butadiene-stirene (ABS), oppure, per apparecchiature di più piccole dimensioni, può essere costituita da policarbonato (PC), poliammidi (PA)⁴¹. Questa varietà è giustificata dalle diverse proprietà richieste per le specifiche componenti delle apparecchiature come ad esempio la resistenza all'abrasione, alle alte temperature, agli urti oppure proprietà di tipo estetico, ma rende difficile il processo di riciclo che si fonda su una combinazione di tecnologie di selezione basate sulle proprietà densimetriche delle plastiche, sulla conducibilità elettrica o sulla spettrometria ad infrarossi.

Le diverse plastiche contenute nei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche hanno una densità simile tra loro e questo ostacola la loro separazione e di conseguenza il loro trattamento e successivo riciclo.

La plastica che non può essere riciclata, circa il 40-50% del materiale in ingresso, è inviata a incenerimento, per il recupero energetico, e più raramente in discarica.

Il riciclo delle plastiche dei RAEE e il loro utilizzo è un argomento complesso che coinvolge un insieme di sfide di natura tecnica, economica e normativa. Questa combinazione di fattori rende difficile, se non impossibile, isolare ogni singolo elemento che ostacola il riciclo di plastica dei RAEE più di altre⁴².

2.5 Le Materie Prime Critiche

Un'altra criticità che si riscontra nell'uso di materiali secondari riguarda la possibilità di recuperare e riciclare le Materie Prime Critiche (CRM), in particolare le Terre Rare contenute all'interno dei dispositivi elettronici e, di conseguenza, nei rifiuti di queste apparecchiature. Le Materie Prime sono classificate Critiche dall'Unione Europea sia perché necessarie per l'economia, che per l'alto rischio associato alla loro fornitura.

La mancanza di questi elementi nei territori dell'Unione implica l'adozione di una strategia nuova di approvvigionamento, tale da rendere minore la dipendenza da Paesi terzi, come la Cina, e sviluppare catene di valore resilienti per gli ecosistemi industriali, mediante l'uso circolare delle risorse e l'applicazione di tecnologie innovative per il loro recupero e riciclo. Nello specifico, nel nostro Paese, ben 24 CRM su 30 sono indispensabili per l'industria ad alta intensità energetica (80%), 21 per l'elettronica e l'automotive (70%) e 18 per le energie rinnovabili (60%). Un settore, quest'ultimo che con la transizione ecologica ed energetica è destinato a forti potenziali di crescita della domanda di Materie Prime Critiche, essenziali allo sviluppo dell'industria dell'eolico, del fotovoltaico e della mobilità elettrica⁴³.

Per esempio, il neodimio (Nd) e praseodimio (Pr) sono richiesti per la produzione dei magneti permanenti utilizzati nelle turbine eoliche e nei veicoli elettrici. Si stima che la loro domanda possa subire un incremento approssimativo del 250% nell'arco dei prossimi dieci anni. Anche altre Terre

⁴⁰ AA.VV, *Plastiche da apparecchiature elettriche ed elettroniche (AAE)*, cap.6, p.119

⁴¹ A. Haarman, F. Magalini, J. Courtois, *Study on the Impacts of Brominated Flame Retardants on the Recycling of WEEE plastics in Europe*, 2020, p.7

⁴² Ibid.

⁴³ The European House-Ambrosetti, *Gli scenari evolutivi delle materie prime critiche e il riciclo dei prodotti tecnologici come leva strategica per ridurre i rischi di approvvigionamento per l'Italia*, p. 6, 2021

Rare sono richieste per la produzione dei veicoli elettrici (in particolar modo batterie e motori elettrici), in media 1-2 kg in più che nei veicoli convenzionali⁴⁴.

I metodi tradizionali per l'estrazione di Terre Rare dai minerali richiedono un elevato apporto energetico e producono una grande quantità di rifiuti (sia liquidi che solidi) che sono considerati molto inquinanti dal punto di vista ambientale. I rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche da cui si possono ricavare i CRM rappresentano quindi un'importante fonte alternativa di approvvigionamento.

Affinché il riciclo dei RAEE possa diventare una leva strategica per ridurre i rischi di approvvigionamento per l'Italia è necessario agire su più dimensioni, tra queste: l'aumento dei volumi della raccolta delle apparecchiature a fine vita, attraverso una maggiore sensibilizzazione dei cittadini e l'adozione di impianti adeguati al recupero e al riciclo dei CRM e in particolare delle Terre Rare, con l'obiettivo ultimo di sviluppare filiere locali.

Purtroppo, la percentuale di recupero di questi elementi dai RAEE oggi è molto bassa ed è necessario dotarsi di impianti adatti alla loro lavorazione in modo che, ad esempio, sarà possibile estrarre il Neodimio, dai magneti permanenti provenienti da motori elettrici e da altri rifiuti elettronici⁴⁵.

La disponibilità di tecnologie avanzate e di volumi di rifiuti elettronici sufficientemente ampi rappresentano due fattori fondamentali, indispensabili per sviluppare una filiera volta al recupero al riciclo dei CRM, che potrebbe generare importanti benefici a livello ambientale ed economico⁴⁶.

⁴⁴ J. Miliute-Plepiene, L. Youhanan, *Rifiuti Elettronici e Materie Prime: dalle questioni ambientali ai modelli di business*, 2019, p.11

⁴⁵ EIT-Raw Materials, *New-RE. Neodymium and Rare Earth from Waste Recycling project proposal*, 2022

⁴⁶ J. Miliute-Plepiene, L. Youhanan, *Rifiuti Elettronici e Materie Prime: dalle questioni ambientali ai modelli di business*, 2019, p.29

3 La transizione verso l'Economia Circolare: Buone Pratiche

3.1 L'applicazione dell'Economia Circolare nel settore AEE e nell'ambito dei RAEE

Le apparecchiature elettriche ed elettroniche (AEE) che sono state scartate dall'utente, poiché non intende più utilizzarle, sono trattate come rifiuto. Pertanto, i rifiuti elettronici potrebbero essere costituiti da AEE ancora funzionanti, oppure da dispositivi che hanno solo qualche componente danneggiata.

Per dare un'idea della quantità di rifiuti elettronici generati, nel 2019, l'Africa ha generato 2,9 milioni di tonnellate di rifiuti elettronici, che si traducono in 2,5 kg/ab. Questo è un dato interessante se si pensa che questo continente ha il più basso tasso documentato di raccolta e di corretto riciclaggio, solo lo 0,9%. Le importazioni di prodotti elettronici di seconda mano rendono tali dispositivi disponibili a coloro che non possono permettersi nuovi prodotti, tuttavia, allo stesso tempo, l'obsolescenza incorporata di tali manufatti aggrava la sfida della gestione dei rifiuti elettronici. Inoltre, le importazioni illegali di dispositivi elettronici vecchi o rotti (a volte con il pretesto di donazioni) spesso finiscono in discariche, con impatti devastanti sulla salute delle persone e sull'ambiente.

La gestione dei rifiuti elettronici è effettuata tramite una prima operazione di messa in sicurezza delle componenti critiche o pericolose (si pensi ai gas presenti nei circuiti refrigeranti dei frigoriferi, agli oli dei compressori) seguita da attività di macinazione più o meno grossolana e separazione delle frazioni metalliche e plastiche. Il trattamento dei RAEE è, ad oggi, una priorità considerata i materiali che potrebbero essere ottenuti dal trattamento (come le CRM, critical raw materials) senza dover ricorrere all'estrazione dalle miniere. Purtroppo, circa il 70% dei rifiuti elettronici viene ancora gestito in maniera informale, perdendo così il valore intrinseco di alcuni materiali e le potenziali opportunità economiche legate ad un loro riutilizzo⁴⁷.

La gestione dei rifiuti urbani (Municipal waste management, MWN) è solitamente un servizio pubblico organizzato dalle autorità locali ⁴⁸. L'ambito del servizio pubblico si è progressivamente ampliato nel tempo⁴⁹. Inizialmente confinato alla raccolta dei rifiuti, si è poi esteso al trattamento e allo smaltimento e, infine, al riciclaggio. Fino agli anni '90 l'industria del riciclaggio ha continuato ad operare come un mercato libero e non regolamentato a cui gli operatori MWM potevano rivolgersi in alternativa allo smaltimento finale. I prezzi sono il risultato della libera interazione tra domanda e offerta di materie secondarie, la cui evoluzione è stata guidata dai mercati delle materie prime. Con l'avvento del paradigma dell'economia circolare, a sua volta, il riciclaggio smette di essere una soluzione residuale. Nel 2003 è stata pubblicata la prima Direttiva Europea che introduce la responsabilità estesa del produttore (EPR) portando alla creazione di organizzazioni collettive di produttori (PRO), alle quali i Produttori hanno trasferito i relativi compiti. I PRO vengono investiti di un potere di mercato significativo su base giuridica, che può incidere sia a monte (fabbricazione di

⁴⁷ Circular economy in Africa: examples and opportunities electronics and e-waste

⁴⁸ Laubinger, F., Brown, A., Dubois, M., & Börkey, P., 2021. Modulated fees for Extended Producer Responsibility schemes (EPR) (184/2021; OECD Environment Working Papers)

⁴⁹ Massarutto, A., 2007. Municipal waste management as a local utility: Options for competition in an environmentally regulated industry. Utilities Policy. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2006.09.003>.

prodotti a cui si applica il principio, materie prime, input intermedi) che a valle (MWM e industria del riciclaggio). Gli schemi EPR variano da paese a paese e dipendono dai flussi di materiale⁵⁰. Le differenze riguardano il grado di concorrenza e di regolamentazione.

Il Pacchetto sull'Economia Circolare⁵¹ apre la strada all'estensione delle EPR a nuovi flussi prioritari di materiali, per i quali dovranno essere progettati nuovi schemi dedicati.

L'aumento dei consumi ha contribuito all'aumento dei volumi di RAEE degli ultimi decenni e i RAEE costituiscono uno dei flussi di rifiuti in più rapida crescita al mondo. A livello globale, il flusso annuo è quantificato in 53 Mt e si prevede che crescerà fino a 75 Mt entro il 2030⁵². Attualmente, solo il 17,4% di questo flusso raggiunge un sistema di gestione dei rifiuti dedicato. Il resto entra nel flusso ordinario dei rifiuti indifferenziati o viene gestito dal settore informale a livello nazionale o internazionale, esponendo tutta la forza lavoro, ed in particolare i bambini, a problemi di salute⁵³.

Tuttavia, è difficile stimare la quantità dei flussi annui di rifiuti, sia per l'eterogeneità, sia perché alcune apparecchiature elettriche ed elettroniche sono beni durevoli con un ciclo di vita superiore ai 10 anni, a differenza invece degli imballaggi che, per esempio, hanno un ciclo di vita piuttosto breve.. Solitamente la cifra di riferimento è la quantità di immesso sul mercato. Sono state proposte misure alternative basate su una rappresentazione più precisa dei contenuti materiali ma non sono ancora facilmente implementabili nelle statistiche nazionali⁵⁴.

Gli obiettivi sono quindi solitamente espressi in termini di tasso di ritorno – quota della quantità immessa sul mercato che viene raccolta separatamente. Il tasso di ritorno consente almeno di prevenire due importanti esternalità negative se i rifiuti elettronici entrano nel normale flusso di rifiuti: 1) gestione impropria che porta all'inquinamento ambientale e condizioni di lavoro non sicure, 2) gestione illegale, che può coinvolgere il lavoro minorile nei paesi in via di sviluppo. Una volta intercettati alla fonte, i produttori si assumono la responsabilità di indirizzare i rifiuti raccolti verso adeguati processi di trattamento. In Europa la situazione è significativamente migliore, anche se con forti differenze tra l'Europa centro-settentrionale e quella orientale-meridionale⁵⁵.

La sola Europa ha generato 12 milioni di tonnellate nel corso del 2019, classificandosi al primo posto a livello mondiale in termini di produzione di e-waste a livello pro capite con 16,2 kg.

Lo stesso anno, l'Europa è stato il continente che ha registrato il tasso più alto di raccolta e riciclaggio di rifiuti elettronici con il 42,5%.

Per quanto riguarda la quantità di RAEE raccolti a livello di Unione Europea nel 2019, il quantitativo è stato pari a 4,5 milioni di tonnellate. **(Figura 2).**

⁵⁰ Antonioli, B., Massarutto, A., 2012. The municipal waste management sector in Europe: Shifting boundaries between public service and the market. *Annals of Public and Cooperative Economics*. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8292.2012.00475.x>

⁵¹ European Commission, 2020. A new Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe. Brussels.

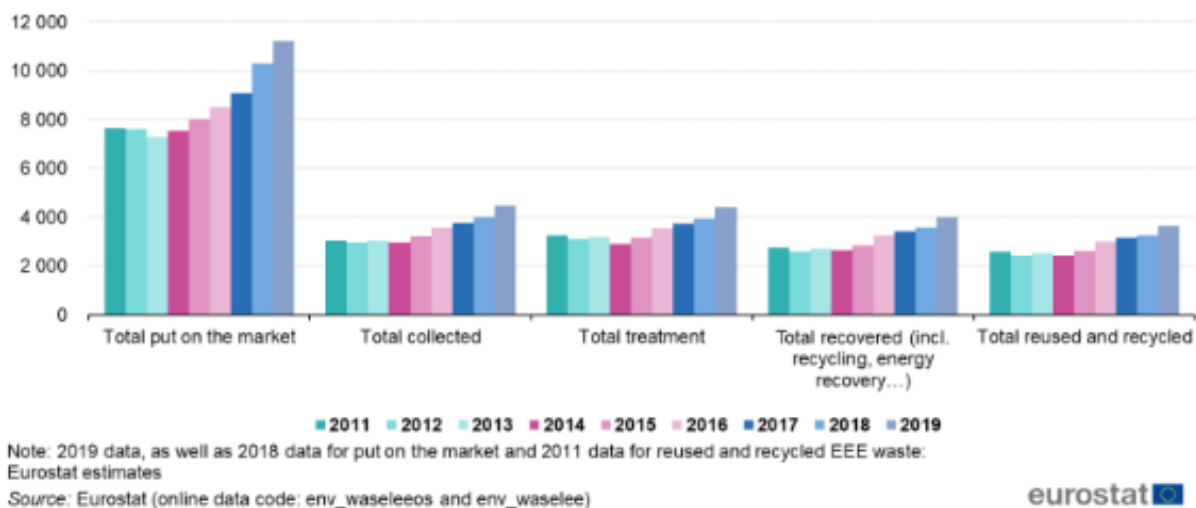
⁵² Forti, V., Baldé, C.P., Kuehr, R., Bel, G., 2021. Global E-waste monitor 2020. Quantities, flows, and the circular economy potential. <https://globalewaste.org/publications>

⁵³ WHO, 2021. Children and digital dumpsites. E-waste exposure and child health, Geneva

⁵⁴ Horta Arduin, R., Mathieux, F., Huisman, J., Blengini, G.A., Charbuillet, C., Wagner, M., Baldé, C.P., Perry, N., 2020. Novel indicators to better monitor the collection and recovery of (critical) raw materials in WEEE: Focus on screens. *Resour. Conserv. Recycl.* 157 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104772>

⁵⁵ Baldé, C.P., Wagner, M., Iatni, G., Kuehr, R., 2020. In-depth review of the WEEE Collection Rates and Targets in the EU-28, Switzerland and Iceland, Norway [https://www.scycle.info/wp-content/uploads/2020/11/In-depth-review WEEE-Collection-Targets-and-Rates UNITAR 2020 Final.pdf](https://www.scycle.info/wp-content/uploads/2020/11/In-depth-review-WEEE-Collection-Targets-and-Rates-UNITAR-2020-Final.pdf)

**Electrical and electronic equipment (EEE) put on the market and waste
 EEE collected, treated, recovered, recycled and prepared for reuse, EU,
 2011–2019**
 (thousand tonnes)



eurostat

Figura 2: Apparecchiature elettriche ed elettroniche immesse sul mercato e rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche raccolti, trattati recuperati, riciclati e preparati per il riutilizzo (2011-2019)

La prima Direttiva RAEE del 2002 obbligava gli Stati membri a introdurre la raccolta differenziata e fissare obiettivi quantitativi. Ha inoltre aperto la strada all'adozione dell'EPR, stabilendo obblighi di ritiro "almeno gratuitamente per i consumatori" per i produttori. Successive revisioni hanno aggiornato gli obiettivi quantitativi, attualmente il 65% della quantità media immessa sul mercato nei tre anni precedenti. Di conseguenza, tutti gli Stati membri dell'UE hanno implementato questa prescrizione dando vita a varie organizzazioni indipendenti attraverso le quali produttori e rivenditori adempiono ai propri obblighi. La ripartizione dei compiti tra produttori, rivenditori e autorità locali è eterogenea⁵⁶.

Tipicamente, le imprese obbligate possono creare un proprio sistema individuale o delegare questo compito a Sistemi Collettivi (PRO) che stipulano contratti operatori di logistica e trattamento⁵⁷. I sistemi possono prevedere incentivi economici di vario genere (es. depositi rimborsabili per incoraggiare i consumatori a restituire apparecchiature esauste); la normativa nazionale può individuare alcuni soggetti a cui è attribuita la responsabilità del raggiungimento complessivo degli obiettivi, nonché le stanze di compensazione, ecc. Negli ultimi anni la ricerca teorica e applicata sui RAEE è stata molto attiva, sfruttando l'impressionante quantità di informazioni pubblicamente disponibili da fonti ufficiali e analisti specializzati⁵⁸.

⁵⁶ Ahlers, J., Hemkhaus, M., Hibler, S., & Hannak, J., 2021. Analysis of Extended Producer Responsibility Schemes: Assessing the performance of selected schemes in European and EU countries with a focus on WEEE, waste packaging and waste batteries. https://erp-recycling.org/wpcontent/uploads/2021/07/adelphi_study_Analysis_of_EPR_Schemes_July_2021.pdf

⁵⁷ Favot, M., 2014. Extended producer responsibility and e-waste management: do institutions matter? Economics and Policy of Energy and the Environment. <https://doi.org/10.3280/EFE2014-001006>

⁵⁸ Zhang, L., Geng, Y., Zhong, Y., Dong, H., Liu, Z., 2019. A bibliometric analysis on waste electrical and electronic equipment research. Environ. Sci. Pollut. Res. 26 (21), 21098–21108. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05409-2>

All'interno di questo vasto insieme di contributi, una parte significativa ha analizzato i modelli di generazione dei RAEE, valutato i tassi ottimali di separazione e riciclaggio, confrontato approcci tecnici e organizzativi all'intercettazione e al recupero delle risorse dagli stessi, risultati e progressi delle esperienze nazionali, l'emergere di reti nazionali e flussi commerciali. Altri studi confrontano i sistemi di conformità RAEE rispetto all'ambito della responsabilità fisica e finanziaria di produttori, autorità locali e rivenditori. Poiché le EPR sono ampiamente diffuse in tutto il mondo, questa letteratura fa anche luce sui quadri istituzionali adottati nei diversi paesi. Tuttavia, nella maggior parte dei casi, l'analisi comparativa si limita agli obiettivi quantitativi e ad alcuni parametri descrittivi del regime nazionale, come la struttura dei canoni applicati ai soggetti obbligati o il numero di schemi operanti in ciascun Paese e la relativa quota di mercato. Il grado di concentrazione del mercato varia notevolmente. Ad esempio, nel Regno Unito ci sono fino a 28 PRO, mentre in Belgio esiste una sola organizzazione per la conformità⁵⁹. È dimostrato che l'EPR fornisce un contributo decisivo al miglioramento della separazione alla fonte e del riciclaggio poiché può attivare gli attori che possiedono le risorse più coerenti e allocare i costi in modo più efficace; determinante è la progettazione degli incentivi all'interno dello schema EPR⁶⁰.

Nel 2019, la media dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche raccolti negli Stati membri dell'UE è stata di 10,0 kg per abitante. Guardando ai singoli Paesi dell'UE27, le migliori performance sono state raggiunte nell'ordine da Norvegia, Svezia e Austria che, nello stesso anno, hanno raccolto rispettivamente 19,5, 15,1 e 15 kg/ab. Con riferimento alle principali economie europee, Francia e Germania hanno una raccolta pro-capite rispettivamente di 12,6 e 11,4 kg/ab, mentre nettamente distaccate si trovano la Spagna e l'Italia con una raccolta pro-capite di 7,9 e 7,7 kg/ab (**Figura 3**).

Waste electrical and electronic equipment collected in 2019



EU: Eurostat estimate.

Source: Eurostat (online data code: env_waselees and env_waselee)

eurostat

Figura 3: Rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche raccolti nel 2019

⁵⁹ Andersen, T., 2021. A comparative study of national variations of the European WEEE directive: manufacturer's view. Environmental Science and Pollution Research In Press. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13206-z>

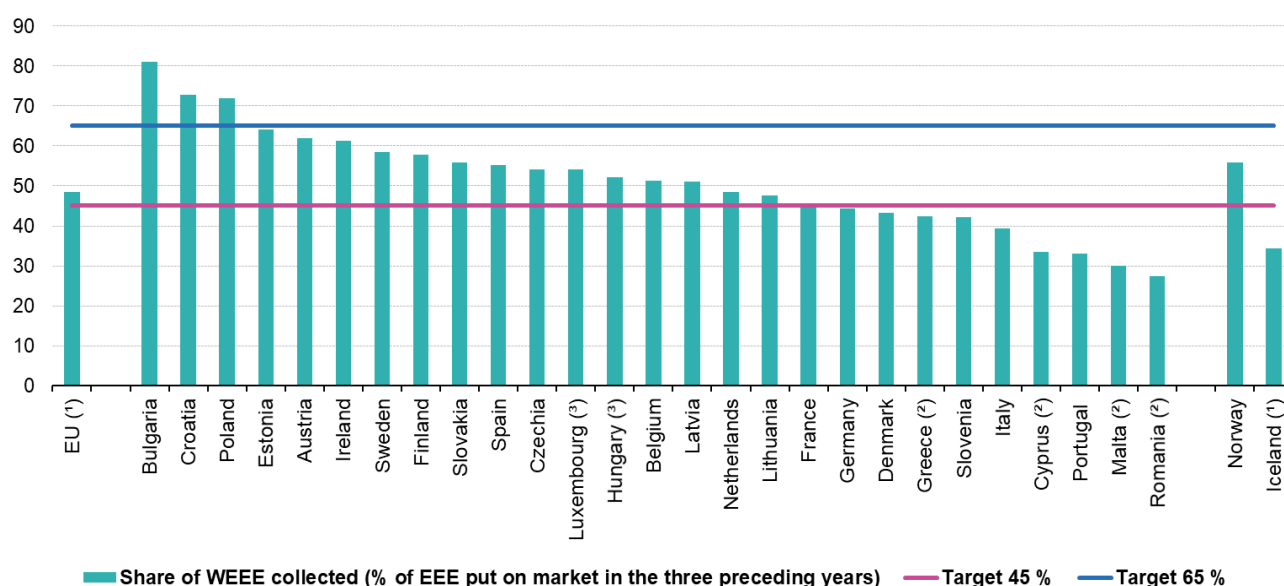
⁶⁰ Liu, T., Cao, J., Wu, Y., Weng, Z., Senthil, R.A., Yu, L., 2021. Exploring influencing factors of WEEE social recycling behavior: A Chinese perspective. J. Cleaner Prod. 312, 127829 <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.127829>

Secondo quanto stabilito dalla Direttiva 2012/19/CE entro il 1° gennaio 2016 l'obiettivo di raccolta da raggiungere era del 45% calcolato come rapporto tra il peso totale dei RAEE raccolti e il peso medio delle AEE immesse sul mercato nei tre anni precedenti. Dal 1° gennaio 2019, il tasso minimo di raccolta è pari al 65% del peso medio delle AEE immesse sul mercato nei tre anni precedenti. In alternativa la direttiva consente di raccogliere l'85% del peso dei RAEE prodotti sul territorio nazionale nell'anno di riferimento. Dall'analisi dei dati EUROSTAT riferiti al 2019 è emerso che alcuni Paesi hanno raggiunto o superato il nuovo e più ambizioso obiettivo entrato in vigore nell'anno di riferimento, mentre altri sono ancora molto lontani da questo obiettivo⁶¹.

Come descritto nella **Figura 4** sottostante, nel 2019 solo 3 Paesi sono riusciti a raggiungere e superare il target previsto: Bulgaria, Croazia e Polonia.

Total collection rate for waste electrical and electronic equipment (EEE), 2019

(% of the average weight of EEE put on the market in the three preceding years (2016-2018))



(1) Eurostat estimate.

(2) Data on collection 2018 instead of 2019; % of average weight of EEE put on the market in years 2015-2017.

(3) 65 % target not applicable, since Luxembourg and Hungary have chosen the calculation methodology based on share of WEEE generated. See Figure 2b.

Source: Eurostat (online data code: env_waseleees and env_waselee)

eurostat 

Figura 4: Tasso di raccolta totale dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche

Analizzando più da vicino la situazione in Italia, si è resa necessaria la formazione di un Centro di Coordinamento (CdC) RAEE, come precedentemente descritto nel Capitolo 2 di questo Rapporto. Altra importante menzione meritano i Sistemi Collettivi (**Figura 5**), ovvero soggetti, sotto forma di consorzi volontari senza scopi di lucro fondati e finanziati dai produttori di AEE, il cui fine è assolvere agli obblighi attribuiti ai produttori dal Decreto legislativo 49/2014 e gestire il trasporto, il trattamento e il recupero dei RAEE nel rispetto delle regole stabilite dal Centro di Coordinamento RAEE.

61

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment

L'obbligo dei Sistemi Collettivi è proporzionale alla quota di mercato che i rispettivi produttori detengono in ciascuno dei cinque raggruppamenti RAEE precedentemente elencati.



Figura 5: Sistemi collettivi

L'economia circolare offre quindi soluzioni utili al problema dello smaltimento e della dispersione dei rifiuti elettronici aumentando i cicli di vita dei dispositivi ed il recupero del valore funzionale e materiale dai rifiuti elettronici. In un'economia circolare applicata al settore AEE e RAEE, i prodotti elettronici di consumo vengono mantenuti in uso il più a lungo possibile, per poi essere ricostituiti per un efficiente riutilizzo, rinnovati o riparati.

I dati nazionali del 2021 confermano infatti la crescita della raccolta dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche per l'ottavo anno consecutivo. Tramite i Sistemi Collettivi, i produttori versano dei contributi economici ai Comuni e ai gestori dei centri di conferimento per favorire il miglioramento continuo della raccolta dei RAEE in termini sia quantitativi sia qualitativi. Tali importi ("premi di efficienza") vengono erogati sulla base di criteri specifici e al verificarsi di condizioni di buona operatività stabiliti negli Accordi di Programma siglati tra le parti. In particolare, viene premiato il livello quantitativo dei RAEE conferiti, nel rispetto dei parametri qualitativi previsti. Sulla base di quanto riportato, i Sistemi Collettivi hanno ritirato e avviato a corretto smaltimento 385.258 tonnellate di RAEE, in crescita del +5,3% rispetto al 2020, che corrisponde a una raccolta pro capite di 6,46 kg/ab. A fare da traino a questo incremento per la prima volta, complice il bonus TV, sono i volumi di televisori e apparecchi con schermi (R3) che segnano il +22,2%. Seguono a grande distanza i grandi bianchi (R2) con una crescita di poco superiore al 3% e freddo e clima (R1) che registra il +2,7%. Migliora, seppur in modo contenuto, (+2,9%) anche la raccolta delle sorgenti luminose (R5). A segno meno invece per la prima volta dopo alcuni anni la raccolta di piccoli elettrodomestici ed elettronica di consumo (R4) che scende dell'-1,4%.

L'obiettivo principale dell'economia circolare è utilizzare al meglio le risorse naturali attraverso schemi di riutilizzo, riciclaggio e recupero, riducendo al minimo l'impatto energetico, sanitario e

ambientale dell'estrazione e della lavorazione⁶². A tal fine, le politiche di gestione dei rifiuti hanno iniziato a passare da scenari tradizionali (basati sulle discariche) a scenari innovativi (basati su energie rinnovabili e su materiali riciclati)⁶³. Di conseguenza, le organizzazioni hanno cambiato i loro modelli di business⁶⁴ per sviluppare sistemi circolari di gestione dei rifiuti, incentivare il flusso circolare di risorse⁶⁵ e migliorare la sostenibilità di prodotti e processi⁶⁶.

Programmi e politiche a zero rifiuti sono stati sviluppati e applicati da molti anni in diverse regioni del mondo. Alcuni esempi rilevanti sono: 1) il Green New Deal europeo (e relativo piano d'azione per l'economia circolare), 2) il rapporto sullo sviluppo verde della New Era cinese (e relativo rapporto del 19° Congresso nazionale del Partito comunista cinese) e 3) il rapporto giapponese Piano della società del ciclo dei materiali sani. Negli ultimi decenni, gli accademici hanno proposto diverse strategie per migliorare le politiche nazionali di gestione dei rifiuti, come i modelli di regressione logistica ordinale multivariata⁶⁷ o proponendo confronti globali delle modalità di riciclaggio⁶⁸. Alcuni di loro hanno sottolineato l'importanza del monitoraggio per rilevare e valutare i cambiamenti nelle dimensioni ambientali, sociali ed economiche. Alcuni altri si sono concentrati su progetti di piccoli proprietari e hanno adottato cinque diverse metodologie (ad esempio due approcci di telerilevamento e tre di misurazione sul campo)⁶⁹. Altri hanno definito procedure più efficienti ed economiche⁷⁰. In termini generali, tutti questi indici di monitoraggio dovrebbero essere selezionati da una serie di parti interessate/esperti, per garantire una prospettiva eterogenea (che incorpora una varietà di preferenze, strategie e informazioni, ad esempio,) e produrre una valutazione realistica delle politiche pubbliche⁷¹. Alcuni di essi si riferivano a grafici radar (Doyen et al., 2019), altri si sono concentrati su diversi approcci di misurazione degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile

⁶² Chiappetta Jabbour, C.J., de Sousa, Lopes, Jabbour, A.B., Sarkis, J., Godinho Filho, M., 2019. Unlocking the circular economy through new business models based on largescale data: an integrative framework and research agenda. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 144, 546–552. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.09.010>

⁶³ Islam, A., Ahmed, T., Awual, M.R., Rahman, A., Sultana, M., Aziz, A.A., Monir, M.U., Teo, S.H., Hasan, M., 2020. Advances in sustainable approaches to recover metals from e-waste—a review. *J. Clean. Prod.* 244, 118815 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118815>

⁶⁴ Perey, R., Benn, S., Agarwal, R., Edwards, M., 2018. The place of waste: changing business value for the circular economy. *Bus. Strateg. Environ.* 27, 631–642. <https://doi.org/10.1002/bse.2068>.

⁶⁵ Cobo, S., Dominguez-Ramos, A., Irabien, A., 2018. From linear to circular integrated waste management systems: a review of methodological approaches. *Resour. Conserv. Recycl.* 135, 279–295. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.003>

⁶⁶ Luo, Y., Song, K., Ding, X., Wu, X., 2021. Environmental sustainability of textiles and apparel: a review of evaluation methods. *Environ. Impact Assess. Rev.* 86, 106497 <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106497>.

⁶⁷ Evans, J.M., Calabria, J., Borisova, T., Boellstorff, D.E., Sochacka, N., Smolen, M.D., Mahler, R.L., Risse, L.M., 2015. Effects of local drought condition on public opinions about water supply and future climate change. *Clim. Chang.* 132, 193–207. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1425-z>.

⁶⁸ Liu, Z., Adams, M., Walker, T.R., 2018. Are exports of recyclables from developed to developing countries waste pollution transfer or part of the global circular economy? *Resour. Conserv. Recycl.* 136, 22–23. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.005>.

⁶⁹ Wells, G., Fisher, J.A., Porras, I., Staddon, S., Ryan, C., 2017. Rethinking monitoring in smallholder carbon payments for ecosystem service schemes: devolve monitoring, understand accuracy and identify co-benefits. *Ecol. Econ.* 139, 115–127. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.04.012>.

⁷⁰ Marchi, M., Ferrara, C., Bertini, G., Fares, S., Salvati, L., 2017. A sampling design strategy to reduce survey costs in forest monitoring. *Ecol. Indic.* 81, 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.011>.

⁷¹ Kanwal, Q., Li, J., Zeng, X., 2021. Mapping recyclability of industrial waste for anthropogenic circularity: a circular economy approach. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 9, 11927–11936. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c04139>

(SDG)⁷², altri hanno considerato approcci economici evolutivi⁷³, altri si sono concentrati sui tassi di riciclo⁷⁴, sulle prestazioni di riciclabilità⁷⁵.

Tuttavia, nessuno di questi studi ha considerato insieme i rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE), i veicoli fuori uso (ELV) e Rifiuti Solidi Urbani (RSU). Una risposta a questo problema potrebbe essere identificata nella mancanza di dati disponibili (e aggiornati) da fonti di dati ufficiali, come evidenziato dal lavoro di Stefanovi e dei suoi colleghi sulla valutazione della sostenibilità degli scenari di gestione dei rifiuti⁷⁶. Tuttavia, una metodologia del processo di gerarchia analitica (AHP) potrebbe essere utile per aumentare la coerenza e l'affidabilità dei dati⁷⁷. Esistono diversi modi in cui l'AHP può essere applicato. Da un lato, può essere utilizzato per definire un indice composito per misurare e confrontare la gestione dei rifiuti solidi urbani tra gli Stati membri europei⁷⁸. D'altra parte, può essere utilizzato anche per misurare la sostenibilità degli Stati membri in termini di RAEE, VLE e RSU⁷⁹. Nel 2018 l'Europa ha lanciato il Piano d'azione per l'economia circolare (Commissione europea, 2018) per sostenere il riutilizzo, il riciclaggio e il recupero dei materiali. Da allora, i metodi di valutazione CE sono stati ampiamente descritti in letteratura⁸⁰, ma è ancora dichiarata la necessità di confrontare i progressi verso il raggiungimento degli SDGs in termini di gestione dei rifiuti⁸¹. Il tema degli SDGs è diventato sempre più centrale nel dibattito anche tra gli accademici⁸². Inoltre, la revisione della letteratura si è concentrata su come sono state applicate le analisi multicriterio per valutare in modo specifico come sono stati studiati i tre pilastri della sostenibilità. Questi lavori hanno identificato criteri specifici per ciascun pilastro e migliori alternative

⁷² Omri, A., 2020. Technological innovation and sustainable development: does the stage of development matter? *Environ. Impact Assess. Rev.* 83, 106398 <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106398>

⁷³ Monasterolo, I., Roventini, A., Foxon, T.J., 2019. Uncertainty of climate policies and implications for economics and finance: an evolutionary economics approach. *Ecol. Econ.* 163, 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.012>

⁷⁴ Wang, M., Li, Y., Li, M., Wan, L., Miao, L., Wang, X., 2019. A comparative study on recycling amount and rate of used products under different regulatory scenarios. *Journal of Cleaner Production* 235, 1153-1169. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.320>.

⁷⁵ Kanwal, Q., Li, J., Zeng, X., 2021. Mapping recyclability of industrial waste for anthropogenic circularity: a circular economy approach. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 9, 11927–11936. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c04139>.) e potenziali di riciclaggio (Dahlbo et al., 2018; Gu et al., 2018; Pindar e Dhawan, 2021

⁷⁶ Stefanovi, G., Milutinovi, B., Vucicevi, B., Denčić-Mihajlov, K., Turanjanin, V., 2016. A comparison of the analytic hierarchy process and the analysis and synthesis of parameters under information deficiency method for assessing the sustainability of waste management scenarios. *J. Clean. Prod.* 130, 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.050>.

⁷⁷ Sánchez-Garrido, A.J., Navarro, I.J., Yepes, V., 2021. Neutrosophic multi-criteria evaluation of sustainable alternatives for the structure of single-family homes. *Environ. Impact Assess. Rev.* 89, 106572 <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106572>.

⁷⁸ Castillo-Giménez, J., Montánés, A., Picazo-Tadeo, A.J., 2019. Performance and convergence in municipal waste treatment in the European Union. *Waste Manag.* 85, 222–231. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2018.12.025>

⁷⁹ Cucchiella, F., D'Adamo, I., Gastaldi, M., Koh, S.C.L., Rosa, P., 2017. A comparison of environmental and energetic performance of European countries: a sustainability index. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 78, 401–413. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.077>

⁸⁰ Sassanelli et al., 2019

⁸¹ Zorpas, A.A., 2020. Strategy development in the framework of waste management. *Sci. Total Environ.* 716, 137088 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137088>

⁸² Calabrese, A., Costa, R., Gastaldi, M., Leviardi Ghiron, N., Villazon Montalvan, R.A., 2021. Implications for sustainable development goals: a framework to assess company disclosure in sustainability reporting. *J. Clean. Prod.* 319, 128624 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128624>

in termini di processo/strategia: RSU⁸³ ; ELV⁸⁴ e RAEE⁸⁵. All'interno di questi lavori, è stata adottata l'analisi multicriterio per misurare l'impatto delle tecnologie per una specifica opzione di fine vita (EoL)⁸⁶ . Tuttavia, una direzione futura auspicabile verso la quale tutte le analisi di sostenibilità potrebbero tendere è stata quella di considerare un'analisi del ciclo di vita separata per indagare ogni dimensione rilevante⁸⁷. Un punto comune a tutti questi studi è che l'analisi multicriterio può confrontare le alternative, qualunque sia il numero di criteri considerati.

Oltre ad un punto di vista statistico e numerico, ci sono esempi di opportunità concrete relative all'applicazione dell'economia circolare nel settore AEE e nell'ambito RAEE. Una delle più importanti strategie è certamente la **riparazione, la rigenerazione, il riciclo dei dispositivi e creare occupazione**.

Ad oggi, in tutto il mondo, ci sono migliaia e migliaia di aziende ed attività di riparazione che svolgono un ruolo chiave nel colmare il cosiddetto divario digitale tra i consumatori abbienti e coloro il cui accesso alle apparecchiature elettroniche è limitato da costi proibitivi. Un esempio è il villaggio dei computer di Otigba in Nigeria, che è un hub per nuovi computer, dispositivi importati e/o rinnovati. Ha oltre 2.500 vendite giornaliere, comprese unità di assemblaggio, riparazione e ristrutturazione di computer. Solo ad Accra e Lagos, il settore della riparazione e della rigenerazione genera reddito per oltre 30.000 persone. Questi numeri aiutano a comprendere il fatto che la riparazione e la ristrutturazione di AEE rappresentano una reale opportunità economica, che può essere ulteriormente ampliata. Un altro esempio è WeFix, ovvero un'attività specialista di riparazioni di AEE fondata nel 2006, che è diventata un marchio noto e con un fatturato di oltre 26 milioni di dollari. Un altro concreto esempio si trova in Ghana, con il team KLAKS 3D di Kumasi che gestisce un'azienda di computer che costruisce stampanti 3D dai rifiuti elettronici. Le aziende e gli enti incentrati sulla riparazione, la rigenerazione e il riciclo di AEE forniscono opportunità di reddito e avvantaggiano l'ambiente posponendo la fine di vita di un prodotto, riducendo così la necessità di materiali vergini e diminuendo il rilascio di rifiuti nocivi e gli inquinanti.

Un'altra possibile applicazione dell'Economia Circolare al settore AEE è costituita dall'opportunità economica di **estrazione mineraria urbana**. Si tratta di un processo mediante il quale le risorse vengono estratte da flussi di rifiuti. L'opportunità economica per l'estrazione urbana di rifiuti elettronici è significativa e direttamente collegata alla quantità di rifiuti. Gli smartphone sono in pratica un buon esempio di quello che può essere definito "urban mining": nel 2021 ne sono stati acquistati circa 1,5 miliardi, con ogni unità contenente componenti del valore di oltre 100 USD: ciò rappresenta un valore potenziale di 150 miliardi di USD ogni anno, se si pensa che nel giro di due anni, saranno completamente sostituiti da altri smartphone. Anche se i materiali presenti in questi dispositivi fossero recuperati attraverso il riciclo, essi potrebbero valere fino a 11,5 miliardi di dollari. Eppure, a

⁸³ Feyzi, S., Khanmohammadi, M., Abedinzadeh, N., Aalipour, M., 2019. Multi- criteria decision analysis FANP based on GIS for siting municipal solid waste incineration power plant in the north of Iran. Sustain. Cities Soc. 47, 101513 <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101513>

⁸⁴ Yang, Y., Hu, J., Liu, Y., Chen, X., 2019. Alternative selection of end-of-life vehicle management in China: a group decision-making approach based on picture hesitant fuzzy measurements. J. Clean. Prod. 206, 631–645. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.188>

⁸⁵ Guarnieri, P., Camara e Silva, L., Vieira, B.D., 2020. How to assess reverse logistics of e-waste considering a multicriteria perspective? A model proposition. Logistics 4, 25. <https://doi.org/10.3390/logistics4040025>

⁸⁶ Khan, I., Kabir, Z., 2020. Waste-to-energy generation technologies and the developing economies: a multi-criteria analysis for sustainability assessment. Renew. Energy 150, 320–333. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.132>

⁸⁷ Kouloumpis, V., Azapagic, A., 2018. Integrated life cycle sustainability assessment using fuzzy inference: a novel FELICITA model. Sustain. Prod. Consum. 15, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.03.002>

livello globale, solo il 17,4% dei rifiuti elettronici è documentato come formalmente raccolto e riciclato. Considerando le componentistiche medie dei normali smartphone in commercio, l'estrazione urbana ora può essere economicamente più redditizia dell'estrazione di minerali metallici dal suolo. Può anche essere sfruttata per ridurre il lento e continuo esaurimento di metalli preziosi presenti in natura e gli impatti ambientali negativi che ne derivano.

Un' ulteriore possibile applicazione di economia circolare nel settore AEE è costituita dallo **sviluppo di strutture per la raccolta, la classificazione e il riciclaggio dei dispositivi elettronici**. Esso rappresenta un'opportunità chiave in termini di valorizzazione dei materiali riciclati e di reddito per lavoratori impegnati nelle suddette strutture. Infatti, una grande percentuale dei rifiuti elettronici generati dalle comunità non viene riciclata a causa dello scarso accesso alle strutture di raccolta.

Il costo del trattamento dei RAEE può variare a seconda del paese e della zona geografica e che dipende da tre fattori: logistica, trattamento presso gli impianti e quotazioni dei materiali recuperati. Dei fattori sopra elencati, il terzo rappresenta la maggiore causa delle variazioni dei prezzi di trattamento, come si evince dall'analisi del contesto finanziario europeo. Secondo il London Metal Exchange nei quattro anni da giugno 2017 a giugno 2021 l'alluminio mostra una quotazione in crescita fino a marzo 2018 e in decrescita nel periodo successivo; raggiunge la quotazione minima nel mese di aprile 2020 per poi registrare un incremento costante e tornare, nel mese di maggio 2021, quasi al medesimo livello del primo trimestre del 2018. Il rame rileva un andamento altalenante nel triennio 2017-2019 con una forte decrescita della quotazione tra i mesi di marzo e aprile 2020, seguita da una ripresa a partire dal mese successivo che la porta a raggiungere il picco massimo a maggio 2021.

Inoltre, la presenza di batterie al litio nei RAEE sta incidendo notevolmente sull'operatività degli impianti di trattamento in quanto possono generare gravi problemi, sia in fase di stoccaggio/movimentazione che di bonifica e trattamento, essendo causa di fenomeni di combustione, anche spontanea, con conseguenze legali e incremento dei costi di gestione. Servirebbe pertanto l'intervento di tutti i soggetti della filiera per individuare i necessari provvedimenti per risolvere o almeno mitigare tale criticità, come ad esempio adeguata informazione e sensibilizzazione dei cittadini sul tema e sulla necessità di separare, ove possibile, le batterie dai RAEE al momento del conferimento. Ciò anche in considerazione della progressiva modifica della composizione dei Raggruppamenti RAEE e, ragionevolmente, il futuro aumento della quantità di RAEE contenenti batterie al litio in Raggruppamenti che ora non li contengono. La creazione di centri di innovazione, spazi di co-working per attività di riparazione e strutture per il recupero dei materiali con risorse di formazione associate fornisce capacità umane e tecniche per la circolarità dei rifiuti elettronici e garantisce il riutilizzo delle risorse, offrendo quindi vantaggi economici ed ecologici. Un esempio di riciclaggio dei rifiuti elettronici è rappresentato da E-Terra Technologies Limited, ovvero una società che offre raccolta, riciclaggio, e distruzione di hardware. Questa attenzione al riciclaggio dei rifiuti elettronici come strumento socioeconomico può favorire la prosperità delle comunità e accelerare la partecipazione all'economia circolare.

Infine, un'altra strategia utile per l'applicazione di economia circolare nel settore in esame si basa sullo **sfuttamento del ruolo abilitante della tecnologia per la gestione dei rifiuti elettronici**. L'impiego di soluzioni digitali per migliorare l'efficienza operativa è considerato particolarmente rilevante per gli elevati costi logistici e di trasporto associati al commercio di materiali riciclabili e al trasporto, in particolare per le città e le economie che non hanno accesso diretto ai porti di attracco. Un altro settore in cui la tecnologia può svolgere un ruolo importante è l'aumento della trasparenza nel commercio e la mitigazione della criminalità legata al mondo dei rifiuti e del riciclaggio. Ciò può includere l'uso di immagini da parte di droni e blockchain, nonché la pubblicazione e l'aggiornamento

in tempo reale degli indici dei prezzi per le materie prime riciclabili comunemente scambiate. Si prevede che tali applicazioni diventeranno sempre più rilevanti con i nuovi requisiti della Convenzione di Basilea “*Prior Informed Consent*”, i quali diventeranno digitali nei prossimi anni. Questo cambiamento richiederà ai paesi di presentare prove fotografiche del fatto che stanno effettivamente soddisfacendo le condizioni della convenzione e che si stia verificando uno scambio di risorse piuttosto che l'esportazione dei rifiuti in un altro paese.

Caso studio: Promuovere la prosperità della comunità e accelerare l'economia circolare

E-Terra Technologies Limited è la principale società di gestione dei RAEE della Nigeria. Offre raccolta di rifiuti elettronici, riciclaggio e distruzione di hardware. L'azienda gestisce i rifiuti elettronici ristrutturandoli o riciclandoli a livello locale, fornendo prodotti ricondizionati o raccogliendo componenti da riutilizzare nella produzione di nuovi prodotti. I componenti pericolosi vengono inviati a partner di riciclaggio (locali e internazionali) per l'ulteriore elaborazione e il corretto smaltimento. Nel 2017, E-Terra ha acquisito un impianto di riciclaggio di tubi catodici (CRT) standardizzato a livello internazionale, diventando così la prima azienda in Nigeria e Africa occidentale con una tecnologia aggiornata per elaborare in modo sicuro 200 CRT al giorno. Le apparecchiature per il riciclaggio dei cavi di E-Terra possono distruggere 100 kg di cavi all'ora in modo ecologico. E-Terra possiede anche apparecchiature per il riciclaggio dei bulbi in grado di trattare in sicurezza 1.500 tubi fluorescenti esauriti al giorno. Nel complesso, i processi di riciclaggio pionieristici di E-Terra riducono la necessità di estrazione di nuovi metalli e materiali, riducendo al minimo l'esposizione dei lavoratori alle componenti tossiche dei rifiuti elettronici.

Il programma EPR per i rifiuti elettronici in Nigeria è stato lanciato nel 2016, con l'obiettivo di attribuire maggiori responsabilità a importatori, esportatori, produttori, assemblatori, distributori e rivenditori i cui prodotti finiscono come rifiuti elettronici. È coordinato dalla Nigerian National Environmental Standards Regulations Enforcement Agency (NESREA), che ha cercato di istituire regolamenti per affrontare questioni come le importazioni illegali di beni elettronici e rifiuti elettronici e attuare un requisito di registrazione per i riciclatori di rifiuti elettronici.

Questo regolamento obbliga tutti i produttori di vari marchi di prodotti AEE a sottoscrivere il programma EPR. Ogni azienda che immette prodotti sul mercato in Nigeria deve rispettare il quadro delle politiche EPR. La conformità richiede che i produttori, inclusi ma non limitati a proprietari di marchi, produttori, importatori e distributori, si registrino presso l'Organizzazione per la responsabilità del produttore (PRO) attraverso la quale è possibile implementare un programma di ritiro o riacquisto per garantire che i produttori coprano i costi della gestione ambientale dei loro prodotti durante tutto il loro ciclo di vita. Due riciclatori accreditati dal governo - Hinckley Recycling Associates ed E-Terra Technologies - sono già stati registrati per effettuare un riciclaggio ecologico e hanno iniziato a operare nell'ambito del programma. Nel contesto della politica EPR, il governo nigeriano collabora con il Global Environment Facility (GEF) e il Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP) per riunire attori delle organizzazioni internazionali, del settore privato e della società civile, nonché produttori di elettronica, tra cui Dell, HP, Microsoft e Phillips.

3.2 Priorità per il settore: la ricerca, la progettazione ed eco-design

Il concetto di apparecchiature elettroniche *green* o *eco-friendly* è spesso utilizzato per numerose iniziative, a scopo pubblicitario o nell'ambito della letteratura scientifica. Tuttavia, questo concetto contiene al suo interno una miriade di sfaccettature; può riguardare ad esempio la fase di produzione

degli AEE (grazie, ad esempio alla riduzione dei consumi di energia e materie prime o al mancato impiego di sostanze tossiche durante la fase di *manufacturing*), la riduzione di rifiuti prodotti (tramite azioni di allungamento della vita del prodotto, promozione di strategie di riuso e riutilizzo), l'introduzione di pratiche sostenibili (come sistemi di spegnimento automatico quando l'apparecchiatura è inutilizzata), o ancora agire sulla fase di design del prodotto stesso (inserendo sistemi a basso consumo energetico, materiali innovativi ecc.). La ricerca scientifica legata a questi aspetti è ricchissima di innovazioni e proposte, spesso ancora caratterizzate da un TRL basso, ma che meritano di essere approfondite e prese in considerazione in risposta a quelle che sono oggi le principali criticità legate al ciclo di vita delle apparecchiature elettriche ed elettroniche sul suolo europeo e, più nello specifico, su quello nazionale.

Considerate le diverse problematiche, di tipo economico e tecnologico, per la gestione delle frazioni residuali non riciclabili, già evidenziate nel paragrafo 2.5 del Rapporto, il presente capitolo mira invece a fornire uno stato dell'arte degli AEE, prendendo in considerazione tutte le fasi della loro vita, dalla progettazione al fine vita.

Benché le fasi siano state suddivise per agevolare la lettura del documento, emerge una stretta correlazione tra loro e un unico filo conduttore che è quello del design dell'AEE. In questa fase di transizione verso strategie più circolari, la parte prettamente tecnica di progettazione delle apparecchiature e di gestione del fine vita, dovrebbe essere accompagnata da analisi di sostenibilità, magari con metodologia *life cycle assessment* (LCA), normata dalle norme ISO 14040 e 14044, capace di identificare le principali criticità e guidare verso azioni realmente efficaci nell'ottica della riduzione del carico ambientale.

3.2.1 La fase di progettazione degli AEE - I materiali coinvolti

La composizione media delle apparecchiature elettroniche include principalmente polimeri, ceramiche e metalli. L'estrema variabilità delle apparecchiature presenti sul mercato rende impossibile stabilire un'unica composizione media di queste apparecchiature e di conseguenza definire un sistema unico di gestione nel momento in cui gli AEE divengono RAEE. Oltre ai differenti *brand*, tale composizione è legata alle specifiche funzioni delle apparecchiature, infatti, l'utilizzo di alcuni materiali conferisce particolari proprietà di conducibilità, isolamento trasparenza ecc. Per dare alcuni numeri dei possibili materiali identificati, Cenci et al. (2022)⁸⁸ ha raccolto 11 tipi differenti di polimeri, 7 tipologie di materiali pericolosi, almeno 6 elementi tossici (tra cui arsenico, cromo e mercurio) e oltre 69 elementi della tavola periodica, tra cui metalli di base, metalli preziosi e numerosi elementi inclusi nella lista dei *critical raw materials*.

È evidente, dunque, che i RAEE rappresentano un'immensa risorsa di materie prime seconde ma anche un grosso problema dovuto al possibile rilascio di sostanze pericolose se non correttamente gestiti. La possibilità di agire sul *design* degli AEE, favorendo tutte quelle che sono le attività di riciclo delle apparecchiature, apporterebbe vantaggi per: a) la riduzione delle problematiche associate a incenerimento, invio in discarica ed esportazione dei RAEE in paesi in via di sviluppo, con tutta una serie di conseguenze sociali ed ambientali in queste aree già svantaggiate, b) la riduzione degli impatti ambientali legati all'estrazione mineraria, c) la perdita di materiali di valore d) la creazione di

⁸⁸ Cenci, M. P., Scarazzato, T., Munchen, D. D., Dartora, P. C., Veit, H. M., Bernardes, A. M., & Dias, P. R. (2022). Eco-Friendly Electronics—A Comprehensive Review. *Advanced Materials Technologies*, 7(2), 1–34. <https://doi.org/10.1002/admt.202001263>

vie di approvvigionamento di *critical raw materials*, necessarie per l'autonomia del mercato europeo⁸⁹.

La rilevanza dell'*ecodesign* per l'economia circolare dei prodotti è stata messa in rilievo in ambito comunitario dal Piano di lavoro sulla progettazione ecocompatibile e sull'etichettatura energetica 2022-2024 e ancora prima dall'Ecodesign working plan 2016-2019. Il concetto è agire sul *design* dei prodotti per rispondere a quelle che sono le priorità e i principi del Piano d'Azione per l'Economia Circolare del 2020. Il primo documento, più recente, vista anche l'attuale crisi energetica che sta vivendo il nostro continente, si concentra soprattutto sul rapporto progettazione/efficienza energetica. L'obiettivo è quello di identificare nuovi requisiti specifici per prodotto riguardanti gli aspetti di efficienza di materiali. Ciò dovrebbe comportare un incremento della circolarità dei prodotti, una riduzione dell'impronta ambientale e climatica e una maggiore resilienza e autonomia dell'Unione⁹⁰.

L'attuale direttiva 2009/125/CE sulla progettazione ecocompatibile ha generato una lunga serie di benefici per le imprese, i consumatori e l'ambiente. Solo nel 2021 l'impatto delle attuali misure di progettazione ecocompatibile, riguardanti 31 gruppi di prodotti, ha fatto risparmiare ai consumatori dell'UE 120 miliardi di euro di spesa energetica e ha ridotto del 10% il consumo annuo di energia dei prodotti in questione.

La proposta di un nuovo regolamento sulla progettazione ecocompatibile di prodotti sostenibili, pubblicata il 30 marzo 2022, è la colonna portante dell'approccio della Commissione in materia di prodotti più ecosostenibili e circolari e al momento riguarda solo i prodotti connessi all'energia.

Questo regolamento fisserà caratteristiche specifiche per la progettazione ecocompatibile di determinati gruppi di prodotti, allo scopo di migliorarne la circolarità, le prestazioni energetiche e altri aspetti legati alla sostenibilità ambientale. Inoltre, consentirà di stabilire requisiti di prestazioni e obblighi di informazione per quasi tutte le categorie di beni fisici immessi sul mercato dell'UE. Per i gruppi di prodotti che presentano caratteristiche comuni sufficienti, il quadro consentirà anche di stabilire norme orizzontali.

Il quadro consentirà di definire un'ampia gamma di requisiti, tra cui:

- durabilità, riutilizzabilità, possibilità di upgrading e riparabilità del prodotto
- presenza di sostanze che ostacolano la circolarità
- efficienza energetica e nell'uso delle risorse
- contenuto riciclato
- rifabbricazione e riciclaggio
- impronta di CO₂ e ambientale
- obblighi di informazione, tra cui un passaporto digitale dei prodotti.

Cruciale sarà il nuovo "passaporto digitale dei prodotti" che fornirà informazioni sulla loro sostenibilità ambientale. Dovrebbe aiutare i consumatori e le imprese a compiere scelte informate al momento dell'acquisto dei prodotti, facilitare le riparazioni e il riciclaggio e migliorare la trasparenza in merito

⁸⁹ Zhu, X., Lane, R., & Werner, T. T. (2017). Modelling in-use stocks and spatial distributions of household electronic devices and their contained metals based on household survey data. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.002>

⁹⁰ Commissione Europea. (2022). *Piano di lavoro sulla progettazione ecocompatibile e sull'etichettatura energetica 2022- 2024*.

all'effetto dei prodotti sull'ambiente durante il loro ciclo di vita. Il passaporto dei prodotti dovrebbe anche facilitare la realizzazione di verifiche e controlli da parte delle autorità pubbliche⁹¹.

A sottolineare il ruolo cruciale dell'ecodesign, il 7 aprile 2022 il Parlamento Europeo ha approvato la Risoluzione per il Diritto alla Riparazione (2022/2515(RSP)) in cui invita la Commissione a proporre una normativa volta a garantire la durabilità dei prodotti e sancire il "diritto alla riparazione" per produrre meno rifiuti. La risoluzione evidenzia tre punti nodali affinché possa diventare un diritto effettivo:

- progettare prodotti che durino più a lungo e possano essere riparati,
- consentire ai consumatori di scegliere prodotti riparabili
- rafforzare i diritti dei consumatori e le garanzie per un uso più lungo dei beni

Inoltre, la Risoluzione propone, in tutta la nuova legislazione sui prodotti e nella revisione della direttiva sulla progettazione ecocompatibile, l'obbligo per i produttori di predisporre:

- strumenti di etichettatura intelligente quali i codici QR e
- i passaporti digitali dei prodotti,

e che sia anche garantito un "equilibrio nello sviluppo di iniziative quali il «passaporto digitale europeo dei prodotti» attraverso una stretta cooperazione con l'industria e i portatori di interessi, tenendo conto in particolare del principio di proporzionalità e prestando speciale attenzione alle esigenze delle PMI ⁹².

In aggiunta, in Italia a breve verrà adottato un Regolamento, ex-art.214-ter, comma 2, del Dlgs 152/2006, che disciplinerà le modalità operative attraverso le quali prodotti o componenti di prodotti diventati rifiuti sono preparati in modo da poter essere reimpiegati senza altro pretrattamento. Saranno così incentivati il riutilizzo e la riparazione ponendo particolare attenzione per i rifiuti derivanti da apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE), per i quali saranno previste apposite disposizioni e una specifica Tabella 2 ⁶.

Un interessante studio è quello proposto da Bovea e Pérez-Belis, 2018, che analizza come il *design* degli AEE sia in grado di rispondere a quelli che sono gli aspetti principali dell'*Ecodesign working Plan 2016-2019*, in particolare tenendo conto degli aspetti chiave, quali durabilità (tempo di vita del prodotto o di alcune sue componenti), riparabilità (es. disponibilità di componentistica da sostituire o possibilità di riparazioni manuali), possibilità di aggiornamento, possibilità di disassemblaggio (semplice rimozione di componenti), disponibilità di informazioni (es. parti in plastica etichettate) ⁹³. Lo studio mette in evidenza il ruolo essenziale del *designer* che rappresenta un anello di giunzione tra prodotto e consumatore, capace di fornire eventuali possibili alternative, atte a favorire una catena di approvvigionamento "*closed-loop*", evidenziando come gli aspetti di cui occorre tener maggiormente conto sono disassemblaggio e il riciclaggio dei materiali. I risultati si focalizzano per lo più sui piccoli elettrodomestici come ferri da stiro e aspirapolveri, spesso caratterizzati da bassa durata della vita e la limitata possibilità di riutilizzo delle componenti.

⁹¹ https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products_it

⁹² https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0126_IT.html

⁹³ Bovea, M. D., & Pérez-Belis, V. (2018). Identifying design guidelines to meet the circular economy principles: A case study on electric and electronic equipment. *Journal of Environmental Management*, 228(August), 483–494. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.014>

È evidente che, visto il contesto descritto, la vera sfida è lo sviluppo di strategie sostenibili per la valorizzazione dei RAEE, ma per favorirle occorre analizzare non più progettazione e fine vita come due cose svincolate. Il nuovo *design* deve essere pensato per *l'end-of-life* dei prodotti stessi. Di seguito si riportano alcune strategie per le tre frazioni precedentemente indicati: **metalli**, **materiali polimerici e materiali ceramici**.

Metalli

Come è emerso, tra i principali ostacoli allo sviluppo di processi di recupero dei RAEE, vi è la presenza di metalli tossici. Per risolvere questa criticità, la ricerca si è mossa (e lo sta ancora facendo) per identificare nuove materie prime, non tossiche o a minor tossicità, capaci di sostituire quelle utilizzate negli attuali AEE. Un esempio di successo è la sostituzione del piombo presente nelle saldature con il bismuto, ottenendo comunque leghe performanti^{94, 95}. Spostandosi da quelli che sono gli elementi pericolosi a quelli che invece restano immobilizzati (e poi perduti in caso di mancato riciclaggio dei RAEE), si pone l'attenzione sulle terre rare, essenziali per la produzione di tecnologie emergenti e del settore comunicazione. Benché siano presenti in piccolissime quantità, questi elementi sono essenziali per assicurare proprietà uniche nel loro genere ad apparecchiature *high-tech*, quali magneti permanenti, batterie, *laser*, *smart phone*, pc ecc.⁹⁶. Le terre rare fanno parte della lista europea dei *critical raw materials*, insieme ad altre materie prime necessarie ad assicurare il livello di miniaturizzazione che oggi vediamo nei nostri AEE. Per fare alcuni esempi, nei telefoni (*non-smart*) è possibile trovare palladio e cobalto, mentre, nei tanto diffusi *smart-phone* troviamo elementi quali antimonio, berillio, cobalto, neodimio, platino, praseodimio, palladio, indio (negli schermi), litio (nelle batterie)^{97, 98}. La strategia della "sostituzione" può essere applicata per cercare ridurre anche la domanda di tali elementi. Tuttavia, questo approccio non è sempre possibile, perché spesso si traduce in una riduzione dell'efficienza e delle prestazioni delle apparecchiature. In aggiunta agli aspetti ambientali, è evidente che quelli economici guidano il mercato e la ricerca verso la possibile sostituzione di alcuni elementi con altri ad un costo ridotto. Ne è un esempio la ricerca volta all'eliminazione del cobalto dalle batterie, per le quali la richiesta del mercato è in forte aumento⁹⁹. I risultati scientifici identificano, inoltre, le nanotecnologie come l'alternativa promettente alla sostituzione delle terre rare. La tabella, adattata dalla pubblicazione Cenci et al., 2022⁸⁸ riassume alcuni esempi significativi di sostituzione riportati nella letteratura scientifica.

⁹⁴ Bath, J. (2020). *Lead-free Soldering Process Development and Reliability* (Wiley (Ed.); 1st Editio).

⁹⁵ Kralova, I., Klimtova, M., & Vesely, P. (2022). Impact of Added Gallium and Phosphorus in Bismuth-Tin Solder Alloys on Mechanical Properties and Microstructure of Intermetallic Layer. *Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology, 2022-May*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ISSE54558.2022.9812758>

⁹⁶ Balaram, V. (2019). Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Geoscience Frontiers*, 10(4), 1285–1303. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.005>

⁹⁷ He, P., Feng, H., Hu, G., Hewage, K., Achari, G., Wang, C., & Sadiq, R. (2020). Life cycle cost analysis for recycling high-tech minerals from waste mobile phones in China. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119498. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119498>

⁹⁸ Rocchetti, L., Amato, A., Fonti, V., Ubaldini, S., De Michelis, I., Kopacek, B., Vegliò, F., & Beolchini, F. (2015). Cross-current leaching of indium from end-of-life LCD panels. *Waste Management*, 42, 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.035>

⁹⁹ Kim, Y., Seong, W. M., & Manthiram, A. (2021). Cobalt-free, high-nickel layered oxide cathodes for lithium-ion batteries: Progress, challenges, and perspectives. *Energy Storage Materials*, 34 (September 2020), 250–259. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2020.09.020>

Tabella 1: Esempi significativi di sostituzione di elementi appartenenti alle CRM (Cenci et al., 2022) ⁸⁸

Elemento	Applicazioni esistenti	Sostituzioni eco-friendly	Referenze
Antimonio (Sb)	Ritardanti di fiamma (Sb ₂ O ₃) in incapsulanti per semiconduttori, cavi, connettori e substrati polimerici	Ossido di zinco e stagno, idrossido di magnesio (Mg(OH) ₂), idrossido di alluminio (Al(OH) ₃)	Goosey & Goosey (2019)
Cobalto (Co)	Batterie a ioni di litio	Batterie a ioni di alluminio	Gourley et al., (2020); Yuan et al., (2020)
	Leghe di SmCo e NdFeB in magneti permanenti	Ferriti di barriro e stronzio; leghe di Ni-Fe	Gun (2014); Imanipour et al. (2020); Niu et al. (2011)
Gallio (Ga)	Arseniuro di gallio (GaAs) e nitruro di gallio (GaN) nei semiconduttori per applicazioni di illuminazione e circuiti integrati	<i>Organic light-emitting diodes</i> (OLEDs); ossidi di zinco e stagno, semiconduttori organici e grafene	Garlapati et al. (2018); Li et al. (2020); Song et al. (2020)
Germanio (Ge)	Fibre ottiche, semiconduttori per schermi e transistor	Sostituito da materiali a base di silicio e nitruro di boro nei transistor	Gislev et al. (2018); Schwierz et al. (2020)
Indio (In)	Ossido di indio e stagno (ITO) in schermi a cristalli liquidi (LCD)	PEDOT (poly(3,4-ethylene dioxothiophene); graphene quantum dots light-emitting diodes (QLED)Substituted by antimony tin oxide; carbon nanotubes (CNT);	Schindler, et al. (2007); Song et al; (2012); Song et al. (2020); Yao et al. (2017)
Niobio (Nb)	Nb ₂ O ₅ supercapacitors	TiO ₂ ; ITO	Nico et al., (2016); Zhou et al. (2020)
Terre rare	Svariate applicazioni	Sostituzioni tra terre rare	Cui et al. (2018); Pavel et al. (2017)

Tantalio (Ta)	Condensatori per elettronica di consumo	Nanotubi di carbonio o grafene	Arvidsson and Bjorn (2017)
---------------	---	--------------------------------	----------------------------

Materiali polimerici

Legata soprattutto ai piccoli elettrodomestici, molti dei quali oggi obsoleti (es. i vecchi lettori per CD) e smistati nei centri di raccolta, c'è poi la questione della presenza significativa di materiale polimerico¹⁰⁰. Tale contenuto si attesta intorno al 20-30% allargandosi anche alle altre categorie di RAEE, rendendo il loro riciclo una priorità per raggiungere i target fissati dalla Direttiva RAEE¹⁰¹. Tuttavia, l'estrema varietà di materiali polimerici e la loro eventuale tossicità rappresentano un ostacolo a queste operazioni, risolvibile solo con azioni a monte in fase di progettazione delle nuove tecnologie. Per quel che riguarda la composizione, l'acrilonitrile-butadiene-stirene rappresenta il principale polimero presente negli AEE, seguito da policarbonato (PC), polipropilene (PP) e polistirene (EPS). Come evidenziato nello studio presentato da Lahtela et al. (2022) la porzione di polimeri non identificati è elevata, specie nelle plastiche scure. Queste plastiche mostrano, inoltre, concentrazioni significative di ritardanti di fiamma bromurati che possono causare effetti nocivi per ambiente e salute nel caso di incenerimento incontrollato dei rifiuti, ma anche possibile rilascio in fase di riciclo. A questo proposito, esempi di possibili sostituzioni sono riportati ad esempio da Deng et al., 2016 e Jonkers et al. 2015, che hanno dimostrato la potenziale riduzione degli impatti grazie alla sostituzione di ritardanti di fiamma alogenati con altri non alogenati^{102,103}.

Ai ritardanti di fiamma si aggiunge tutta una lista di agenti tossici quali piombo, mercurio, arsenico, cadmio e cromo esavalente.

È evidente quindi come, tra le priorità dell'eco progettazione degli AEE ci sia la necessità di ridurre le sostanze pericolose contenute nella frazione plastica.

L'impiego dei materiali polimerici nel campo dell'elettronica è legato alle numerose proprietà fisiche e meccaniche, tra cui la flessibilità e la loro capacità di isolamento. La loro stabilità chimica li ha resi per anni insostituibili, poiché perfetti per la produzione di apparecchiature resistenti e durature nel tempo, ma anche un enorme problema ambientale a causa dei lunghissimi tempi di degradazione. Per risolvere questa criticità, la ricerca scientifica è andata avanti allo scopo di identificare nuovi,

¹⁰⁰ Lahtela, V., Hamod, H., & Kärki, T. (2022). Assessment of critical factors in waste electrical and electronic equipment (WEEE) plastics on the recyclability: A case study in Finland. *Science of the Total Environment*, 830 (May), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155627>

¹⁰¹ Kousaiti, A., Hahladakis, J. N., Savvilotidou, V., Pivnenko, K., Tyrovola, K., Xekoukoulotakis, N., Astrup, T. F., & Gidarakos, E. (2020). Assessment of tetrabromobisphenol-A (TBBPA) content in plastic waste recovered from WEEE. *Journal of Hazardous Materials*, 390 (November 2019), 121641. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121641>

¹⁰² Deng, Y., Paraskevas, D., Tian, Y., Van Acker, K., Dewulf, W., & Duflou, J. R. (2016). Life cycle assessment of flax-fibre reinforced epoxidized linseed oil composite with a flame retardant for electronic applications. *Journal of Cleaner Production*, 133, 427–438. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.172>

¹⁰³ Jonkers, N., Krop, H., van Ewijk, H., & Leonards, P. E. G. (2016). Life cycle assessment of flame retardants in an electronics application. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(2), 146–161. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0999-z>

promettenti sostituiti, tra cui polimeri semi conduttori^{104, 105}. Di forte interesse è anche l'uso di polimeri biodegradabili, utilizzabili per numerose applicazioni, la cui permanenza nell'ambiente, una volta raggiunta la fase del fine vita, risulta notevolmente inferiore o nulla. In particolare, questi materiali si dividono in quelli di tipo I (parzialmente degradabili) e di tipo II (completamente biodegradabili). Il loro utilizzo include applicazioni come substrati, isolanti, semiconduttori e conduttori. Le loro caratteristiche li rendono inoltre adatti per applicazioni in ambito medico evitando un secondo intervento per la rimozione dell'apparecchiatura dal corpo del paziente^{106, 107}. Alcuni esempi di questi materiali sono: l'acido desossiribonucleico (DNA), l'acido poli(lattico) (PLA), l'acido poli(lattico-co-glicolico) (PLGA). La versatilità di questi materiali li rende adatti a diverse applicazioni come la cellulosa, utilizzabili in celle solari, celle a combustibile, OLED, transistor e attuatori¹⁰⁸. Tra le principali criticità riscontrate nell'uso dei biopolimeri ci sono la ridotta resistenza termica e meccanica e la bassa flessibilità, che rappresentano spesso delle priorità per la produzione degli AEE. La ricerca, tuttavia, ha fatto passi da gigante in questo ambito. Il PLA, ad esempio, risulta essere uno dei biopolimeri maggiormente prodotto con un costo di mercato competitivo. La sua struttura lo rende adatto ad essere funzionalizzato per migliorare le proprietà meccaniche, di conducibilità e stabilità termica¹⁰⁹. È evidente che quello dell'individuazione dei nuovi materiali polimerici da considerare per la progettazione dei nuovi AEE è in continua evoluzione, l'obiettivo è individuare i più promettenti da un punto di vista ambientale ed economico.

Materiali ceramici

I materiali ceramici hanno mostrato molteplici applicazioni nel campo dell'elettronica grazie alle eccellenti proprietà (termiche, ottiche, elettriche e magnetiche). La loro applicazione si riscontra nella produzione di pannelli fotovoltaici, fibre ottiche e LED. Tuttavia, la loro effettiva sostenibilità è messa in discussione in quanto mostrano spesso elevate concentrazioni di sostanze pericolose, principalmente piombo. L'uso di nuovi e alternativi materiali ceramici avanzati è essenziale per promuovere nuove funzionalità, per raggiungere elevati livelli di miniaturizzazione ed efficientare l'uso di energia e materie prime. Tra questi risulta ad esempio promettente l'uso di GaN e carburo di silicio nei semiconduttori di terza generazione, che dovrebbero migliorare significativamente l'efficienza

¹⁰⁴ Chen, Z., Chen, Y., Zhao, Y., Qiu, F., Jiang, K., Huang, S., Ke, C., Zhu, J., Tranca, D., & Zhuang, X. (2021). B/N-Enriched Semi-Conductive Polymer Film for Micro-Supercapacitors with AC Line-Filtering Performance. *Langmuir*, 37(7), 2523–2531. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c03635>

¹⁰⁵ Pang, H., Xu, L., Yan, D., & Li, Z. (2014). Progress in Polymer Science Conductive polymer composites with segregated structures. *Progress in Polymer Science*, 39(11), 1908–1933. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2014.07.007>

¹⁰⁶ Hunt, N. C., & Grover, L. M. (2010). Cell encapsulation using biopolymer gels for regenerative medicine. *Biotechnology Letters*, 32(6), 733–742. <https://doi.org/10.1007/s10529-010-0221-0>

¹⁰⁷ Yahya, E. B., Amirul, A. A., S, A. K. H. P., Olaiya, N. G., Iqbal, M. O., Jummaat, F., K, A. S. A., & Adnan, A. S. (2021). *Insights into the Role of Biopolymer Aerogel Scaffolds in Tissue Engineering and Regenerative Medicine*. 1–21.

¹⁰⁸ Li, W., Liu, Q., & Zhang, Y. (2020). C. a. Li, Z. He, WC Choy, PJ Low, P. Sonar, AKK Kyaw. *Adv. Mater*, 32, 2001591. Merli, G., Becci, A., & Amato, A. (2022). Recovery of Precious Metals From Printed Circuit Boards By Cyanogenic Bacteria: Optimization of Cyanide Production By Statistical Analysis. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107495. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107495>

¹⁰⁹ Choudhury, I., & Hashmi, S. (2020). *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials* (Elsevier (Ed.)).

dei dispositivi di alimentazione^{110, 111}. Diversi materiali ceramici sono candidati anche per la produzione di anodo e catodo nelle batterie a ioni di sodio, capaci di sostituire le attuali batterie al litio¹⁰⁰. Come già descritto per i materiali polimerici, la nuova tendenza è quella di andare verso la produzione di componenti elettroniche biodegradabili, capaci di disintegrarsi o dissolversi in particolari condizioni ambientali (es di temperatura e umidità), adatte soprattutto per applicazioni in campo medico. È ovvio che tali materiali non possono contenere sostanze tossiche e tale approccio potrebbe essere trasferito anche ai materiali ceramici. Ne sono la prova i lavori descritti da Yu et al. (2018) e Rong et al. (2018) che riportano esempi di alcune di queste ceramiche composte da ossido di zinco, ossido di manganese e nitrato di silicio^{112, 113}.

Tra i materiali che meritano attenzione nella transizione verso AEE ecocompatibili, ci sono poi i materiali compositi e il grafene, capaci di rimpiazzare sostanze pericolose garantendo proprietà confrontabili con un ridotto impatto ambientale. Questo risultato è possibile grazie all'accoppiamento di più materiali con proprietà sinergiche che contano di ottenere una migliore conducibilità, resistenza meccanica anche biodegradabilità. Il grafene, inoltre, ha grossi potenziali nelle applicazioni elettroniche grazie alle ottime proprietà elettriche. L'utilizzo di questi materiali potrebbe consentire la sostituzione di metalli e materiali ceramici in moltissime apparecchiature considerando anche possibili applicazioni in tecnologie indossabili che richiedono materiali elastici e confortevoli⁸⁰. Anche in questo caso, comunque, la combinazione con analisi di sostenibilità ambientale dovrebbe essere applicata per valutare l'effettivo vantaggio derivante da questi materiali.

3.2.2 La fase di progettazione degli AEE - *Design for disassembly*

L'aspetto della necessità di agire *sull'eco-design* si riflette non solo sulla scelta dei materiali ma anche sulla struttura stessa delle apparecchiature. Hsu et al., 2019, ad esempio, affronta la questione del recupero delle schede elettroniche mettendo in evidenza come uno degli ostacoli principali al riciclaggio sia la problematica del *dismantling* che rende la fase di recupero estremamente complessa e costosa¹¹⁴. Gli autori spiegano che il disassemblaggio automatico è reso particolarmente complesso dall'estrema eterogeneità del campione e dal rischio di rilascio di materiale tossico. A questo proposito, riportano l'esempio di *Apple* che ha realizzato due robot specializzati nello smontaggio (Liam e Daisy), capaci di agire anche sulla componente più piccola presente negli *Iphone*. Tuttavia, gli autori evidenziano la necessità da parte della ricerca sul *design* stesso del prodotto che possa essere più "smart" pensato per la successiva fase di recupero. Un AEE modulare, pensato per il suo fine vita, sarà quindi in grado di agevolare le operazioni di smontaggio necessarie prima di inviare la componentistica al riuso, al riciclaggio o allo smaltimento finale. Il concetto di *design for disassembly* risulta perfettamente coerente con quelli che sono i

¹¹⁰ Wang, S., & Zhang, X. (2019). *N-Doped C @ Zn 3 B 2 O 6 as a Low Cost and Environmentally Friendly Anode Material for Na-Ion Batteries: High Performance and New Reaction Mechanism*. 1805432, 1–8. <https://doi.org/10.1002/adma.201805432>

¹¹¹ Xun, Q., Xun, B., Li, Z., Wang, P., & Cai, Z. (2017). Application of SiC power electronic devices in secondary power source for aircraft. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70 (November 2016), 1336–1342. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.035>

¹¹² Rong, Q., Lei, W., & Liu, M. (2018). Conductive Hydrogels as Smart Materials for Flexible Electronic Devices. *Supramolecular Materials*, 24, 16930–16943. <https://doi.org/10.1002/chem.201801302>

¹¹³ Yu, X., Shou, W., Mahajan, B. K., Huang, X., & Pan, H. (2018). *Materials, Processes, and Facile Manufacturing for Bioresorbable Electronics: A Review*. 1707624, 1–27. <https://doi.org/10.1002/adma.201707624>

¹¹⁴ Hsu, E., Barmak, K., West, A. C., & Park, A.-H. A. (2019). Advancements in the treatment and processing of electronic waste with sustainability: a review of metal extraction and recovery technologies. *Green Chemistry*, 21(5), 919–936. <https://doi.org/10.1039/C8GC03688H>

principi dell'economia circolare e stimola lo sviluppo di strategie di aggiornabilità e riparabilità delle apparecchiature. Questo argomento è affrontato anche da Shittu et al., 2021 che evidenzia la necessità di nuovi prodotti pensati per essere riparati, aggiornati, riusati/riciclati. Il lavoro fa riferimento a un laptop innovativo, il DR4 (*Design for recycling, repair, refurbishment and reuse*) pensato per rispondere a tutti quelli che sono i principi dell'economia circolare, per accettare la componentistica da altri pc, per essere riparato ed aggiornato. Il computer si colloca all'interno di un *network* che connette il sistema industriale a tutta una serie di assemblatori locali, consentendo lo scambio di risorse e l'aumento della visibilità del prodotto stesso.

3.2.3 La fase di produzione delle apparecchiature elettroniche

La fase di produzione delle apparecchiature presenta molteplici variabili legate alla specificità dei prodotti, al paese in cui vengono realizzati e alle tecnologie applicate. Le metodologie sono costantemente in aggiornamento e possono includere l'impiego di manodopera o apparecchiature specifiche in cui far avvenire processi meccanici, fisici, chimici, biologici capaci di trasformare le materie prime in prodotti finiti. La produzione può essere realizzata in *stock* oppure personalizzata in base alla richiesta dei consumatori finali. Per rendere più sostenibile il processo di *manufacturing* occorre investire su: riduzione dei consumi di energia e materie prime, riduzione del consumo di sostanze tossiche e massima riduzione dei rifiuti prodotti.

È evidente che al fine di raggiungere questi obiettivi, le azioni sul *design* dei prodotti sono fondamentali. Tuttavia, va tenuto conto anche dei tempi e delle modalità con cui una filiera può adeguarsi alle stesse innovazioni.

Nel campo delle nuove tecnologie per la produzione di AEE un forte interesse è lo stampaggio 3D, grazie soprattutto alla sua versatilità.

Si evidenzia infine come occorra valutare l'impatto sul riciclo anche nell'implementazione di nuove tecnologie. Un esempio di nuove tecnologie che influenzano negativamente il riciclaggio è l'utilizzo di pannelli VIP (Vacuum insulated panels) nei frigoriferi con lo scopo di migliorare l'isolamento termico, abbattendo qui i consumi che però, a causa della loro composizione, non sono in alcun modo riciclabili generando così una riduzione delle percentuali di riciclo di questa tipologia di RAEE e rendendo difficoltoso il trattamento con le tecnologie attualmente in uso. Sarebbe pertanto auspicabile sviluppare per le nuove AEE un sistema di certificazione tipo *design for recycling* da accoppiarsi a meccanismi di incentivazione, anche economica, per quelle AEE che rispettano maggiormente i concetti green (riciclabilità, durabilità, impiego di materiali riciclati ecc).

3.2.4 La fase di utilizzo ed il risparmio energetico

La fase di utilizzo di una qualsiasi apparecchiatura comporta un significativo impatto ambientale strettamente correlato al consumo energetico. Il consumo di un AEE è fortemente legato a un duplice aspetto, da un lato la componentistica dell'apparecchiatura stessa (es. specifiche del sistema di illuminazione, caratteristiche del sistema di ricarica ecc.), dall'altro il comportamento dell'utilizzatore che include ad esempio la sua sensibilità a spegnere l'apparecchiatura nel momento in cui non viene utilizzata, oppure nella scelta di utilizzarla in modalità "risparmio energetico". È evidente che per rispondere al primo punto occorre tornare indietro di un paragrafo ed agire sulla fase di progettazione. Per quanto riguarda il secondo aspetto, molto si è già fatto su quello che riguarda il design, inserendo, ad esempio lo *stand-by* automatico, cosa che oggi risulta ormai scontata. Ulteriori azioni di sensibilizzazione degli utenti potrebbero essere integrate con lo sviluppo di sistemi di intelligenza artificiale capaci, ad esempio, di gestire i consumi energetici e di acqua all'interno degli edifici, migliorandone l'efficienza. Applicazioni di questo tipo si identificano ad esempio in Google

dove un sistema di reti neurali, impiegati in diverse strutture, ha consentito il controllo di vari parametri tramite un sistema di sensori, con una riduzione del sovraccarico di energia di oltre il 15%¹¹⁵. La condivisione delle informazioni e dei dati rappresenta un punto chiave per agire sul miglioramento della sostenibilità degli AEE in fase di utilizzo. Ne è un esempio *Smart Grid*, un insieme di reti di informazioni e di distribuzione dell'energia elettrica capaci di ottimizzare la distribuzione dell'energia elettrica, decentralizza le centrali di produzione dell'energia e minimizza sovraccarichi e variazioni della tensione¹¹⁶. La possibilità di interfacciare questo sistema intelligente con le apparecchiature elettroniche consente lo scambio di dati e, ad esempio, alleggerire la richiesta energetica nelle ore di maggior carico. Lo scambio di dati è alla base di quello che è definito *Internet of Things*, in cui ogni oggetto può essere virtualmente identificato in maniera univoca e scambiare dati. Questo comporta la creazione di un sistema intelligente, sicuro e potente capace di controllare gli impatti ambientali, di razionalizzare i consumi e di allungare la vita delle apparecchiature¹¹⁷. Lo sviluppo di tali sistemi può avere un effetto positivo sull'ambiente ma occorre svilupparlo in maniera quanto più razionale, agendo su tutti quegli aspetti che, se opportunamente controllati, possono tradursi in un reale beneficio. Altrimenti, il risultato potrebbe essere un'ulteriore crescita degli effetti ambientali legata alla produzione di sensori inutili. Occorre dunque trovare strategie vincenti capaci di trasformare le *smart technology* in opportunità di crescita nell'ottica della sostenibilità

3.2.5 Il fine vita dei prodotti

Il ruolo del riciclo è essenziale per chiudere in maniera sostenibile la vita degli AEE, rispettando quelli che sono i principi dell'economia circolare. Un tipico processo di trattamento RAEE parte dal disassemblaggio manuale o meccanico delle componenti delle apparecchiature, con la separazione dei materiali da inviare alle specifiche filiere di valorizzazione. Generalmente, il processo di valorizzazione, indipendentemente dall'approccio scelto, inizia con un trattamento fisico/meccanico capace di pre-concentrare le materie valorizzabili e suddividere ad esempio i materiali polimerici dalle frazioni magnetiche e dalle parti conduttive, ecc... Benché si tratti di un pre-trattamento, questa fase risulta molto importante perché può causare la perdita di quantità significative di materiale valorizzabile e può influire sulla purezza del prodotto finale recuperato. Tra i metodi convenzionali applicati per la valorizzazione dei RAEE a seguito del pre-trattamento ci sono le tecniche pirometallurgiche e le idrometallurgiche. Le prime, maggiormente impiegate, richiedono temperature molto elevate, sono capaci di trattare scarti in varia forma, consentono il recupero della frazione polimerica come energia e hanno il vantaggio di essere una tecnologia ben consolidata. Tra gli svantaggi principali, queste tecniche possono essere causa di elevate emissioni di polveri e furani, possono comportare la perdita di metalli preziosi e critici e producono grandi quantità di scorie. Spesso, inoltre, sono comunque accoppiate con metodi idrometallurgici per completare il recupero di specifici metalli. D'altro canto, l'idrometallurgia, prevede l'impiego di temperature più basse ma l'uso di agenti chimici con la produzione di significative quantità di reflui pericolosi da gestire. Tali approcci consentono un maggior controllo delle emissioni e, in questo caso è ipotizzabile il riciclo della componente plastica (tenendo comunque conto dei limiti dell'eterogeneità e del contenuto di

¹¹⁵ DeepMind. (2016). *DeepMind AI Reduces Google Data Centre Cooling Bill by 40%*. <https://www.deepmind.com/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-by-40>

¹¹⁶ Acea Energia. (2022). *Smart grid, la rivoluzione dell'energia elettrica*. <https://www.acea.it/guide/smart-grid-cosa-sono>

¹¹⁷ Abrar, I., Ayub, Z., & Masoodi, F. (2021). Current Trends and Future Scope for the Internet of Things. In *Internet of Things in Business Transformation* (pp. 185–209). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119711148.ch11>

sostanze pericolose descritto nei precedenti paragrafi)^{80,118}. La ricerca applicata alle tecniche idrometallurgiche per la valorizzazione dei RAEE mira soprattutto a sostituire agenti estraenti tossici (come acidi inorganici forti e cianuri) con agenti meno aggressivi e acidi organici, aumentare i recuperi di reflui e agire sulle condizioni di reazione^{119, 120, 121}.

L'impianto ROMEO¹²² (*Recovery Of METal by hydrOmetallurgy*) presente all'interno del Centro di ricerca ENEA Casaccia, è il primo impianto pilota in Italia per il recupero di materiali preziosi da apparecchi come computer e cellulari attraverso il processo idrometallurgico e senza pretrattamento delle schede elettroniche. Il processo avviene a temperatura ambiente, contenendo notevolmente i costi energetici; le emissioni gassose opportunamente trattate sono trasformate in reagenti reimpiegati nel processo stesso minimizzando l'impatto ambientale e la quantità di reflui prodotti.

L'impianto ha una resa del 95% nell'estrazione di oro in forma metallica con elevato grado di purezza, argento, platino, palladio, rame, stagno e piombo¹²³.

Alternative sostenibili nel campo del trattamento RAEE sono i liquidi ionici, capaci di sostituire i più impattanti solventi organici grazie alla presenza di un catione organico e un anione inorganico e un punto di fusione inferiore ai 100°C. Questi agenti garantiscono ottime proprietà chimico-fisiche, elevata compatibilità ambientale e la possibilità di essere riciclati. Tra le nuove alternative sostenibili, troviamo anche lo sviluppo di biotecnologie che coinvolgono l'azione di funghi e batteri. Questi nuovi approcci rappresentano un ottimo esempio di tecnologie sostenibili che mirano all'abbassamento degli impatti ambientali. A questo proposito sono d'esempio la tecnologia presentata da Becci et al. 2020 per il trattamento delle schede elettroniche, in cui i batteri sono coinvolti nella rigenerazione dei reagenti necessari all'estrazione del rame¹²⁴. Il risultato è l'abbattimento dei costi ambientali ed economici legati al consumo di materie prime ed il mantenimento di condizioni operative ecocompatibili. Altra interessante proposta è quella di Merli et al. 2022, in cui batteri cianogenici sono coinvolti nell'estrazione di argento e oro sempre dalle schede elettroniche. In questo caso, oltre alle alte efficienze ottenute, si ha il grosso vantaggio di non avere reflui ricchi di cianuri in uscita dal processo, grazie all'azione metabolica degli stessi batteri.

Indipendentemente dalla tecnica selezionata, la possibilità di agire su sistemi modulari, gioca un ruolo essenziale per lo sviluppo di processi di valorizzazione più efficienti, capaci di abbattere le emissioni e garantire alti tassi di riciclo. La difficoltà di smontaggio delle singole componenti risulta una grossa criticità dei processi di valorizzazione, come spesso sottolineato nella letteratura scientifica. Azioni atte al miglioramento della costruzione degli stessi AEE consentirebbero lo

¹¹⁸ Gupta, M., Ashok, K., Upadhyaya, V., & Nigam, S. (2022). Metal Recovery from E-Waste by Recycling Techniques: A Review. *8th International Conference on Smart Structures and Systems, ICSSS 2022*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICSSS54381.2022.9782219>

¹¹⁹ Amato, A., Rocchetti, L., & Beolchini, F. (2017). Environmental impact assessment of different end-of-life LCD management strategies. *Waste Management*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.024>

¹²⁰ Amato, A., & Beolchini, F. (2018). End-of-life CIGS photovoltaic panel: A source of secondary indium and gallium. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications, March*, 1–8. <https://doi.org/10.1002/pip.3082>

¹²¹ Camelino, S., Rao, J., Padilla, R. L., & Lucci, R. (2015). Initial Studies about Gold Leaching from Printed Circuit Boards (PCB's) of Waste Cell Phones. *Procedia Materials Science*, 9, 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.013>

¹²² <https://risorse.sostenibilita.enea.it/infrastrutture/impianto-pilota-romeo>

¹²³ Brunori, C., Cafiero, L., De Carolis, R., Fontana, D., Guzzinati, R., Pietrantonio, M., ... & Tuffi, R. (2015). INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR METALS RECOVERY AND PLASTIC VALORIZATION FROM ELECTRIC AND ELECTRONIC WASTE: AN INTEGRATED APPROACH. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 14(7).

¹²⁴ Becci, A., Amato, A., Fonti, V., Karaj, D., & Beolchini, F. (2020). An innovative biotechnology for metal recovery from printed circuit boards. *Resources, Conservation and Recycling*, 153 (June 2019). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104549>

sviluppo di processi mirati in cui il metallo recuperabile risulta già più concentrato, il contenuto di impurezze è meno significativo e le operazioni risultano mediamente meno energivore¹²⁵.

3.2.6 Progetti di innovazione: il caso studio della valorizzazione degli schermi LCD

Uno dei progetti di innovazione, in ambito RAEE, è rappresentato dal trattamento per la valorizzazione di schermi LCD descritto dal brevetto italiano IT201800008207A1- “Metodo di trattamento e valorizzazione di schermi a cristalli liquidi a fine vita con rifiuti zero” e ulteriormente sviluppato fino ad un TRL 6 dal gruppo di ricerca di Tecnologie ambientali dell’Università Politecnica delle Marche, attraverso un progetto Proof-of-concept (PoC) finanziato dal MiSE. La scelta di questo processo è legata alla criticità della gestione dei pannelli e alle conclusioni finali che fanno emergere importanti aspetti legati alla valorizzazione dei RAEE.

Il processo, che utilizza un approccio idrometallurgico, prevede un pretrattamento meccanico, seguito da un’estrazione acida e dal recupero di indio metallico (incluso nella lista delle *critical raw materials*) tramite cementazione.

L’intero processo è stato sviluppato parallelamente ad analisi economiche e ambientali, con approccio LCA, che hanno guidato verso scelte di sostenibilità. Il processo assicura un design semplice (trasferibile anche ad altri RAEE), alte rese di recupero ed un rifiuto circa zero, grazie alla possibilità di valorizzare il residuo solido in materiali per l’edilizia e ad un sistema ad alta efficienza di ricircolo dei reflui. Le principali criticità individuate sono la bassa concentrazione di indio nel rifiuto iniziale, l’eterogeneità dei pannelli trattati, l’instabilità del mercato.

Il primo aspetto è strettamente legato agli argomenti trattati nel capitolo, in quanto AEE modulari, con sistemi di tracciamento delle differenti frazioni, consentirebbero una più efficiente pre-concentrazione dell’indio. D’altro canto, la versatilità del trattamento lo rendono adatto ad essere accoppiato con il trattamento di altri RAEE (anche per il recupero di altri metalli) capaci di incrementarne la sostenibilità (esempio telefoni e pannelli fotovoltaici CIGS).

Questo potrebbe andare a rispondere all’ultima problematica, quella dell’instabilità del mercato, un processo integrato potrebbe compensare la perdita di valore di una materia prima con quello di un’altra.

Tra le conclusioni del progetto, gli autori riportano una grossa minaccia, legata alla mancanza di una normativa specifica per la gestione dei residui ricchi in risorse strategiche, aspetto che spesso blocca l’innovazione in questo campo.

Per quanto riguarda la progettazione europea e quella nazionale, è possibile notare una forte evoluzione nel concetto stesso dei progetti in fase di sviluppo. Fino ad alcuni anni fa i progetti finanziati erano principalmente concentrati sulla fase del solo riciclo, senza uno stretto collegamento alla fase di impiego delle materie recuperate in nuovi cicli. Nel periodo più recente, lo sviluppo del concetto di economia circolare ha contribuito a spostare l’attenzione su questo aspetto. I nuovi Consorzi, infatti, includono aziende o gruppi di ricerca coinvolti sia nel riciclo che nella produzione, il concetto è quello di connettere tutti gli *stakeholders*. Il solo riciclo risulta quasi obsoleto, se non vengono coinvolti anche i potenziali utilizzatori delle materie prime seconde, capaci di identificare quelli che sono i possibili punti deboli e punti di forza per indirizzare la catena della valorizzazione. La tabella di seguito riporta alcuni esempi di progetti Horizon degli ultimi 10 anni, volti alla valorizzazione delle frazioni provenienti dai RAEE.

¹²⁵ Kaya, M. (2019). *Electronic Waste and Printed Circuit Board Recycling Technologies* (Springer (Ed.)).

Nome progetto	Coordinatore del progetto	Obiettivi del progetto	Periodo
Pilot Action for Securing a Sustainable European Next Generation of Efficient RE-free magnets	FUNDACION IMDEA NANOCIENCIA (Spagna)	Sviluppare processi di produzione/valorizzazione dei magneti permanenti per risolvere la problematica dell'approvvigionamento dei materiali e diminuire l'impatto ambientale	2021-2023
PLASTtics to be CLEANED by sorting and separation of plastics and subsequent recycling of polymers, bromine flame retardants and antimony trioxide	NEDERLANDSE ORGANISATIE VOOR TOEGEPAST NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK TNO (Olanda)	Sviluppo di processi per il riciclaggio dei polimeri più comuni, dei ritardanti di fiamma bromurati e del triossido di antimonio, servendosi di tecnologie innovative in grado di separare gli additivi pericolosi dalla plastica.	2019-2023
Collection of raw materials, Removal of flAme reTardants and Reuse of secondary raw materials	FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FORDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG EV (Germania)	Sviluppo di un processo per la rimozione dei ritardanti di fiamma da RAEE e prodotti per l'edilizia e il loro riutilizzo in pannelli isolanti	2019-2023
Removing hazardous substances to increase recycling rates of WEEE, ELV and CDW plastics	TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT OY (Finlandia)	Sviluppo di tecnologie di riciclaggio all'avanguardia per rimuovere le sostanze pericolose dalla plastica, contribuendo a reintrodurre i rifiuti di plastica industriali nell'economia circolare.	2019-2022
Implementation of a CirculAr economy Based on Recycled, reused and recovered Indium, Silicon and Silver materials for photovoltaic and other applications	COMMISSARIAT A L ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES (Francia)	Sviluppo di tecnologie di riciclaggio di moduli fotovoltaici ad alto valore e a resa elevata, con un recupero efficiente in termini economici di tutti i materiali riutilizzabili in nuovi cicli produttivi	2015-2018

Innovative Hydrometallurgical Processes to recover Metals from WEEE including lamps and batteries	KOPACEK KG (Austria)	Sviluppo di processi innovativi per il recupero di metalli da lampadine, schermi LCD, tubi catodici, batterie al litio e catalizzatori	2012-2017
---	----------------------	--	-----------

3.3 Priorità per il settore: le infrastrutture

In Italia gli impianti che hanno dichiarato i volumi di rifiuti elettronici gestiti nel 2021 sono 1.058. Solo 43 impianti risultano essere accreditati per il trattamento presso il CdCRAEE, ovvero risultano qualificati ai sensi dell'Accordo di Programma sul trattamento.

Vi sono impianti che si avvalgono di macchinari avanzati garantendo performance ambientali, percentuali di recupero, purezza del materiale ed emissioni ambientali al top del settore.

3.3.1 Tempistiche e processi autorizzativi

Ogni variazione significativa relativa ad un'infrastruttura produttiva o ad uno specifico processo produttivo necessita di autorizzazioni da parte delle autorità locali (es. Regione, Comune, ARPA, ect). Queste modifiche sono apportate attraverso un procedimento amministrativo per l'ottenimento della AIA, ovvero un'autorizzazione integrata ambientale, provvedimento che mira a verificare la compatibilità ambientale di una determinata attività/infrastruttura.

Se il gestore di un impianto ritiene che debba apportare delle modifiche non sostanziali alla propria autorizzazione (quindi modifiche che hanno impatti modesti sull'assetto produttivo e sulle attività svolte), ne dà semplice comunicazione all'Autorità competente, la quale ha 60 giorni per esprimersi. Decorso tale termine, il gestore può procedere alla realizzazione delle modifiche comunicate.

Ma se il gestore deve procedere ad una modifica sostanziale (quindi investimenti significativi che vanno a mutare l'assetto infrastrutturale, es. nel caso dell'attuazione del PNRR), le tempistiche cambiano di gran lunga.

In questi casi il gestore è tenuto all'invio, all'Autorità competente, di una nuova domanda di autorizzazione, accompagnata da una relazione contenente un aggiornamento delle relative informazioni.

Questa procedura richiede tempi che possono variare dai 12 ai 24 mesi, dilatando le tempistiche per la realizzazione di progetti innovativi e, non di rado, scoraggia eventuali investimenti da parte degli imprenditori di questi settori regolamentati o piani di sviluppo nazionale (si pensi all'attuazione del PNRR che prevede la realizzazione delle infrastrutture entro il 2026, in tempi non compatibili con quelli autorizzativi e realizzativi degli impianti).

3.3.2 Scarsa redditività del trattamento RAEE

La dilatazione dei tempi autorizzativi va a combinarsi ad un altro aspetto da non sottovalutare: la contenuta redditività dell'attività di trattamento dei RAEE.

Infatti, la redditività industriale degli operatori (cd. EBITDA), pur in presenza di rilevanti investimenti e quindi di ammortamenti significativi, risulta quasi sempre "single digit".

Questi aspetti incidono fortemente sulla capacità innovativa del settore in Italia e sul presidio di aree di business potenzialmente interessanti a livello di sistema e di profittabilità: si pensi, ad esempio, all'estrazione delle materie critiche dai semilavorati del trattamento RAEE, come le schede elettroniche, i metalli misti e le polveri che vengono abitualmente spedite fuori dal Paese perché in Italia non trattate.

3.3.3 Garantire livelli costanti di approvvigionamento dei RAEE

Il livello degli approvvigionamenti, in particolare quello gestito dai Sistemi Collettivi, è fortemente influenzato da alcune variabili: la prima, strutturale, è determinata dai limiti culturali nella differenziazione e smaltimento dei cittadini; la seconda è, invece, congiunturale in quanto, al crescere dell'andamento del prezzo dei metalli, diminuisce la quantità di materiale reso disponibile ai Sistemi Collettivi dai centri di raccolta e quindi documentabile nel sistema formale del CdC RAEE. Gli impianti di trattamento RAEE patiscono significativamente le fluttuazioni legate alla disponibilità dei RAEE che quindi incidono sulla loro sostenibilità e capacità di programmazione degli investimenti, necessari per aumentare la qualità e la quantità del riciclo. Tale fenomeno è amplificato dal fatto che le quantità di RAEE diminuiscono all'aumentare dei costi delle materie prime andando ad impattare sui margini delle imprese del trattamento.

Purtroppo, la mancata conoscenza e informazione rispetto al corretto conferimento dei RAEE determina un ostacolo ancora da superare per migliorare i tassi di raccolta.

Infatti, non tutti conoscono le modalità di raccolta dei RAEE, i luoghi idonei, come le isole ecologiche, dove poter conferire il rifiuto da smaltire e non tutti i comuni hanno il servizio di raccolta su chiamata, gratuito o a pagamento. Il risultato è che i RAEE, soprattutto quelli di piccole dimensioni, restano nei cassetti per anni quando va bene, quando cioè non prendono la strada dell'abbandono in esterno o del conferimento nella indifferenziata.

Sarebbe, pertanto, interessante valutare l'efficacia della creazione di un sistema di raccolta differenziato dei rifiuti domestici che contempli, settimanalmente, anche la raccolta dei RAEE con un contenitore specifico.

Questo andrebbe ad influire positivamente sui flussi di raccolta, determinandone un minimo di continuità.

3.4 Le Buone Pratiche in Italia ed Europa

Il seguente paragrafo presenta le buone pratiche a livello italiano ed europeo sul riciclo, riparazione e riutilizzo dei RAEE, ma anche campagne di sensibilizzazione, progetti sociali. Queste buone pratiche, presenti nei database di ICESP¹²⁶ ed ECESP¹²⁷, mostrano approcci innovativi per chiudere la filiera delle AEE e per considerare i rifiuti non più solo come un problema, ma principalmente come una risorsa.

Titolo	Descrizione	Settore	Link	Paese
InnoWEEE	InnoWEEE aveva l'obiettivo di aumentare la raccolta dei RAEE attraverso strategie innovative come l'utilizzo di smart bin e	Elettronica Raccolta differenziata	https://www.icesp.it/buone-pratiche/in	Italia

¹²⁶ <https://www.icesp.it>

¹²⁷ <https://circulareconomy.europa.eu/platform/>

	<p>l'implementazione di una piattaforma web. Queste strategie sono state testate in tre aree sperimentali: Cava de' Tirreni (SA); Provincia di Trento e Bath (UK). Il progetto puntava a valorizzare le risorse, sia mediante la rigenerazione e il riuso di dispositivi ancora utilizzabili, sia attraverso il corretto riciclaggio e la valutazione dei materiali di pregio che possono essere re-introdotti nel ciclo produttivo.</p>	<p>Riciclaggio Tecnologia digitale</p>	<p>noweee-sistema-innovativo-di-tracciabilita-e-raccolta-dei-raee-e-di-geo</p>	
<p>Agenda WEEKO 2025</p>	<p>Il progetto WEEKO, promosso da Xera si compone di 4 fasi:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ritiro hardware; 2. scomposizione delle parti; 3. analisi dei materiali; 4. creazione nuovo prodotto. <p>L'interesse di Xera non sta nell'estrazione dei materiali preziosi e delle cosiddette "terre rare", bensì nel coinvolgere studenti universitari nei progetti di ricerca&sviluppo e a creare in futuro, come concretizzazione dell'ultima fase WEEKO, nuovi prodotti d'arredamento nati da materie di scarto, ai quali viene data nuova vita. Caro all'azienda è l'aspetto del coinvolgimento sociale, come da adesione agli obiettivi 1 e 4 dell'Agenda 2030, sull'abbattimento della povertà e sull'accesso ad una migliore istruzione per tutti. Da questa necessità sono stati inseriti assessorato regionale ed enti no-profit, principalmente cooperative sociali, all'interno del progetto, come parte integrante e attiva dello stesso.</p> <p>Nel corso del 2021 WEEKO ha recuperato 19850 apparati di cui 16269 rimessi sul mercato, abbassando di molto la</p>	<p>Elettronica Materie prime seconde</p>	<p>https://www.icesp.it/buone-pratiche/agenda-weeko-2025</p>	<p>Italia</p>

	<p>percentuale dei dispositivi scartati. Per quanto riguarda gli enti no-profit, una percentuale del ricavato dell'attività commerciale è stato loro donato, così come una parte dei prodotti rigenerati. L'Agenda WEEKO 2025 è in continuo aggiornamento e sono in corso dialoghi anche con scuole ed istituti da poter coinvolgere. Nonostante le collaborazioni nate di recente, ed il difficile periodo storico in cui sono state avviate, buoni risultati non hanno tardato ad arrivare. L'università partner ha fornito un esaustivo report delle analisi condotte sui materiali, che hanno permesso all'azienda di iniziare a identificare la possibile destinazione alternativa degli stessi.</p>			
ReWee	<p>ReWeee mira a prevenire la creazione RAEE. Per raggiungere questo obiettivo, due centri di smistamento RAEE opereranno per la prima volta in Attica e nella Macedonia centrale. L'attività principale di tali centri è la raccolta, lo stoccaggio e lo smistamento dei RAEE a seconda della loro condizione e quindi la loro preparazione per il riutilizzo o il trattamento. In questo progetto si svilupperà una piattaforma web per la donazione e lo scambio di AEE e sarà utilizzata da famiglie, aziende e servizi pubblici. Si terranno anche eventi per promuovere la riparazione delle AEE.</p>	<p>Elettronica Riciclaggio Tecnologia digitale</p>	<p>https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/dialogue/name-s-contacts/reweee-haris-angelakopoulos</p>	Grecia
Binee	<p>Binee è una start up tedesca finanziata da Booster (chiamata per le star up) della EIT Rawmaterials nel 2016, e mira a incoraggiare i consumatori a dare una nuova vita ai loro dispositivi obsoleti.</p>	<p>Elettronica Tecnologia digitale Incentivi Coinvolgimento dei consumatori</p>	<p>https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/electric-</p>	Germania

	<p>Binee è un servizio di ritiro in negozio per lo smaltimento di apparecchi elettrici ed elettronici obsoleti, attualmente presente a Lipsia e dintorni. Oltre a fornire uno smaltimento responsabile degli apparecchi, il servizio premia i consumatori con uno sconto per ogni dispositivo restituito. Il giusto mix di convenienza (le scatole Binee sono disponibili in tutta la città), tracciabilità digitale, trasparenza e sistema di ricompensa, lo rendono un approccio efficiente per influenzare il comportamento dei consumatori e massimizzare l'"Urban mining"</p> <p>Nel giugno 2017 Binee ha ricevuto il riconoscimento per essere stata nominata come eccellenza nel concorso "Place in Germany - Land of Ideas" ("Deutschland - Land der Ideen").</p>		and-electronic-waste-little-incentive-goes-long-way	
Closing the loop	<p>Closing the Loop affronta la questione globale dei rifiuti elettronici appaltando tecnologie digitali. Con un piccolo compenso rende più sostenibile l'acquisto di nuove apparecchiature da parte di organizzazioni (compensazione dei rifiuti). Raccoglie e organizza la spedizione e il riciclaggio responsabile dei dispositivi fuori uso per conto dei propri clienti e il materiale recuperato nel processo di riciclaggio dei rifiuti elettronici viene immesso in nuovi cicli di vita.</p>	<p>Elettronica Tecnologia digitale Servizi B2B</p>	https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/waste-compensation-closing-loop-electronics-lifecycle	Paesi Bassi
Reparatur und Service Zentrum – R.U.S.Z	<p>R.U.S.Z è un'iniziativa speciale in cui i disoccupati sono formati per riparare le merci a prezzi accessibili e per smontare apparecchiature elettroniche in modo che i rifiuti non pericolosi e pericolosi siano separati. Gli elementi più comunemente</p>	<p>Elettronica Tecnologia digitale Raccolta differenziata Impresa sociale</p>	https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/dialogue/name-s-contacts/r	Austria

	<p>riparati sono apparecchi elettrodomestici.</p> <p>L'unità di ricerca e sviluppo di R.U.S.Z. ha sviluppato un metodo tecnico per ridurre il consumo di acqua e di energia delle lavatrici più grandi del 20%.</p> <p>RUSZ ha evitato più di 15.000 tonnellate di RAEE dal 1998.</p> <p>RUSZ ha dato a 300 lavoratori disoccupati dei contratti di lavoro permanente.</p>		<p>repair-and-service-centre-rusz</p>	
Volpy	<p>L'applicazione Volpy offre una soluzione semplice ed economica utilizzando un approccio etico ed ecologico con un modello di business circolare. È una soluzione all-in-one: gli smartphone vengono valutati, riacquistati e scambiati direttamente tramite l'app. Gli smartphone sono stimati in 3 minuti attraverso un servizio di test rapido e intuitivo. L'applicazione consente inoltre agli utenti di passare da uno smartphone all'altro, nuovo o ricondizionato e la spedizione degli smartphone è supportata da Volpy, inviando una lettera prepagata agli utenti.</p> <p>L'obiettivo principale di Volpy è promuovere l'economia circolare e combattere il consumo eccessivo di materie prime.</p> <p>Gli utenti hanno creato più di 90.000 account clienti.</p>	<p>Elettronica</p> <p>Tecnologia digitale</p> <p>Incentivi</p> <p>Coinvolgimento dei consumatori</p>	<p>https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/volpy-brings-smartphones-circular-economy</p>	Francia
Educlick	<p>Educlick è un workshop di economia sociale e circolare che porta un impatto sociale positivo con un modello di business unico che affronta tre aree chiave:</p> <p>gestione dei rifiuti concentrandosi sulla raccolta dei RAEE come raccogliitore autorizzato</p>	<p>Educazione</p> <p>Raccolta differenziata</p> <p>Riparazione, ristrutturazione, rigenerazione, riutilizzo</p>	<p>https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/e- duclick- social-</p>	Romania

	<p>ridurre il divario educativo tra le aree rurali e urbane in Romania ristrutturando e riparando i computer raccolti e donandoli alle scuole nelle aree vulnerabili</p> <p>riduzione dell'ingiustizia sociale: ogni attività economica è svolta da dipendenti svantaggiati a cui la loro situazione personale impedisce l'ingresso nel mercato del lavoro.</p> <p>Durante i suoi 14 anni di attività, educlick ha aiutato più di 200 dipendenti vulnerabili a sviluppare competenze sociali e professionali, ha donato computer ricondizionati a 23.000 scuole e raccolto oltre 1.700 tonnellate di RAEE che sono state riciclate o riutilizzate.</p>	<p>Impresa sociale</p> <p>Impatto sociale</p>	<p>and-circular-economy-workshop-romania</p>	
E-waste Race	<p>E-waste race è una gara che coinvolge scuole primarie per raccogliere vecchi dispositivi elettronici. Ai partecipanti al progetto viene offerta una lezione introduttiva sul riciclaggio e sui materiali preziosi contenuti nei dispositivi elettronici. Tutti i dispositivi raccolti sono completamente riciclati per estrarre i metalli che possono essere riusati come materia prima seconda.</p> <p>Più di mille scuole nei Paesi Bassi hanno preso parte alle gare e sono stati raccolti oltre 1,4 milioni di vecchi dispositivi elettronici (una media di 14.000 kg per gara), con un risparmio di quasi 20.000 kg di CO2</p>	<p>Educazione</p> <p>Raccolta differenziata</p> <p>Elettronica</p> <p>Tecnologia digitale</p> <p>Gestione dei rifiuti e materie prime secondarie</p>	<p>https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/e-waste-race-school-based-collection-old-electronic-devices</p>	Paesi Bassi
RECOSI	<p>RECOSI (Cooperativa regionale ed europea per l'industria sociale) è un franchising sociale incentrato sul riutilizzo e il rinnovo di apparecchiature ICT (PC, laptop, monitor e tablet) e RAEE (rifiuti di apparecchiature</p>	<p>Raccolta differenziata</p> <p>Riparazione, ristrutturazione, rigenerazione, riutilizzo</p>	<p>https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/r</p>	Irlanda

	<p>elettriche ed elettroniche). La sua missione è incoraggiare l'occupazione delle persone emarginate, sostenere l'ambiente attraverso il riutilizzo e colmare il divario digitale.</p> <p>RECOSI è pienamente operativa dal 2014 e in questo periodo ha riutilizzato più di 150.000 apparecchiature ICT.</p>	<p>Elettronica</p> <p>Tecnologia digitale</p> <p>Impresa sociale</p> <p>Impatto sociale</p>	<p>ecosirefurbishimg-ict-products-re-use</p>	
Veolia	<p>Veolia ha sviluppato competenze e costruito strutture specifiche per affrontare il complesso processo di trattamento e smantellamento dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE).</p> <p>Triade Electronique, la filiale specializzata di Veolia con sede ad Angers (Francia), processa fino a 80.000 tonnellate di RAEE ogni anno. Il sito comprende linee di trattamento per tutti i tipi di RAEE. Sono state sviluppate tecnologie innovative, tra cui un processo per il recupero di tutta la plastica dai RAEE, completamente automatizzato che permette di separare più di 10 diversi polimeri.</p> <p>L'impianto di Angers tratta 80.000 tonnellate di rifiuti ogni anno, riciclandone oltre l'80%; recupera tutta la plastica proveniente dai RAEE garantendo tassi di purezza superiori al 99%.</p>	<p>Elettronica</p> <p>Tecnologia digitale</p> <p>Riparazione, ristrutturazione, rigenerazione, riutilizzo</p> <p>Gestione dei rifiuti e materie prime secondarie</p>	<p>https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/triade-electronique-recycling-weee</p>	Francia
Votechnik	<p>Votechnik ha sviluppato una tecnologia e una macchina corrispondente per la bonifica dei display LCD, utilizzando la robotica all'avanguardia per il riciclaggio automatizzato. La macchina rimuove in modo rapido e sicuro i componenti contenenti sostanze pericolose dagli LCD, come le lampade contenenti mercurio, e prepara le parti separate dei materiali non</p>	<p>Elettronica</p> <p>Tecnologia digitale</p> <p>Raccolta differenziata</p>	<p>https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/votechniks-automated-recycling-machine-meets-</p>	Irlanda

	pericolosi per il riciclaggio. La macchina può disassemblare e bonificare 60 display LCD per ora.		demand-depolluting-waste-electronics	
Ecotic	<p>Il progetto educativo Ecotic Caravan mira a sensibilizzare alla tutela dell'ambiente e allo sviluppo sostenibile, puntando sulla gestione efficiente dei Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE). Il progetto ha coinvolto sia il pubblico in generale che i bambini delle scuole di età compresa tra 6 e 14 anni.</p> <p>L'elemento chiave del progetto è stata una mostra mobile di RAEE, che presentava 10 apparecchiature smontate: un monitor a tubo catodico, frigorifero, lavatrice, telefono fisso, cellulare, laptop, PC desktop, giocattolo e un ferro da stiro. Più di 20000 persone hanno visitato il caravan veicolando il messaggio dell'importanza del riciclaggio dei RAEE, facilitando discussioni e workshop pratici.</p>	Educazione	https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/ecotic-caravan-weee-collection-and-awareness-campaigns	Romania
Fairphone	Fairphone mira a creare un impatto sociale e ambientale positivo dall'inizio alla fine del ciclo di vita di un telefono. Oltre all'utilizzo di materiali equi e alla fornitura di buone condizioni di lavoro, Fairphone ha un design duraturo. Inoltre, è possibile ripararlo e riciclarlo facilmente rendendo i telefoni più facili da smontare. Fairphone ha anche iniziato a sviluppare modelli di business innovativi in collaborazione con Circle Economy, il laboratorio di finanza sostenibile e una serie di consulenti finanziari, legali e della catena di approvvigionamento.	Ecodesign Innovazione e investimenti	https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/fairphone-created-worlds-first-ethical-modular-smartphone	Paesi Bassi

<p>Grover</p>	<p>Grover è una piattaforma di noleggio di tecnologia online in Germania. Cerca di ridurre la quantità di rifiuti elettronici e di promuovere il riutilizzo di articoli elettronici a un prezzo accessibile.</p> <p>Grover noleggia ai clienti articoli tecnologici come smartphone, laptop, dispositivi per la realtà virtuale (VR) e dispositivi indossabili su base flessibile e con pieni diritti di utilizzo. I clienti possono scegliere per quanto tempo desiderano noleggiare un determinato prodotto. Al termine del periodo di noleggio, possono scegliere di rinnovare il contratto, acquistare il prodotto a titolo definitivo o restituirlo gratuitamente.</p>	<p>Elettronica</p> <p>Tecnologia digitale</p> <p>Soluzioni digitali</p>	<p>https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/grover-reducing-e-waste-renting-out-electronic-devices</p>	<p>Germania</p>
<p>Refurbed</p>	<p>Refurbed è un mercato online per l'elettronica ricondizionata, come telefoni, laptop e tablet di seconda mano. I prodotti ricondizionati costano il 40% in meno e consumano il 70% in meno di CO₂ rispetto al nuovo prodotto equivalente. Refurbed consente ai suoi clienti di combinare la qualità e la sicurezza di un nuovo prodotto con la sostenibilità e il prezzo contenuto di uno usato e dimostrare che "sostenibile" non deve essere per forza più costoso. Inoltre, Refurbed pianta un albero per ogni prodotto venduto, rendendo l'acquisto CO₂ positivo.</p> <p>Attraverso il ricondizionamento sono state risparmiate circa 5,6 tonnellate di CO₂ e circa 16 tonnellate di rifiuti elettronici non sono stati prodotti. Sono stati piantati più di 200.000 alberi con il partner di Refurbed Eden Reforestation Projects.</p>	<p>Soluzioni digitali</p> <p>Elettronica</p> <p>Tecnologia digitale</p> <p>Riparazione, ristrutturazione, rigenerazione, riutilizzo</p>	<p>https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/refurbed-electronics-good-new-or-even-better</p>	<p>Austria</p>

4 Conclusioni

La rassegna di filiera del sottogruppo AEE del GdL4 di ICESP ha avuto come obiettivo principale la presentazione delle criticità relative alla chiusura del ciclo della filiera. Queste si concentrano principalmente in due fasi:

- Fase di progettazione
- Fase di raccolta dei RAEE

Per quanto riguarda la **fase di progettazione**, crediamo che occorra ripensare il design degli AEE in modo che possano essere costruiti da materie prime seconde (es. CRM, plastiche) e consentire operazioni di riciclo e valorizzazione che permettano l'ottenimento di componenti e frazioni in uscita riutilizzabili e riciclabili, ma anche disegnati in modo tale da poterne prolungare la durata e la riparabilità. L'eco-progettazione degli AEE, se correttamente indirizzata ed implementata, potrebbe aiutare a risolvere alcune delle complessità che affliggono la filiera dei RAEE. Tra queste va sottolineata la difficoltà di reimpiegare le frazioni in uscita dal trattamento in nuove produzioni e le difficoltà tecniche di estrarre dai rifiuti tecnologici, a costi sostenibili, i CRM, incrementando le percentuali di riciclo e diminuendo la dipendenza delle importazioni di materie prime, dall'estero.

Altra criticità, che rende la fase di progettazione anello debole della catena, è la scarsa modularità degli AEE che ostacola la loro riparazione e l'aggiornamento, rendendo le apparecchiature obsolete in breve tempo, considerata la rapida evoluzione tecnologica. La modularità faciliterebbe anche la gestione del RAEE consentendo la creazione di nuove filiere per la preparazione al riutilizzo e ricondizionamento.

Standard qualitativi elevati dei riciclati contribuirebbero al consolidamento di un mercato certo e stabile che a sua volta consentirebbe agli impianti di trattamento RAEE di investire nel miglioramento crescente della qualità nella separazione delle materie prime seconde. In tal senso, sulla scia delle iniziative europee (vd. la direttiva 2019/904/UE conosciuta come "direttiva SUP" – *Single use plastic*, recepita dal D.Lgs. 196/2021), sarebbe fondamentale anche per le Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche, la fissazione di un contenuto minimo obbligatorio di materiale riciclato nella produzione di nuovi articoli.

Nella **fase di raccolta dei RAEE** e della loro tracciabilità, le problematiche sono legate al basso tasso di ritorno dei RAEE. Si registra sul territorio nazionale una carenza di impianti di trattamento e smaltimento delle frazioni residuali (quelle che non possono essere reimmesse direttamente sul mercato) derivanti dal trattamento dei RAEE, con i quali si riuscirebbe a chiudere il cerchio. Il recupero finale avviene per la maggior parte all'estero in quanto in Italia non ci sono ancora impianti dedicati, per esempio, al recupero delle schede elettroniche e delle batterie. Attualmente infatti gli impianti di trattamento dei RAEE sono costretti ad inviare queste frazioni (che sebbene rappresentino una piccola percentuale del totale incidono in modo significativo sui costi delle aziende e quindi sulla loro sostenibilità) ad impianti localizzati all'estero con costi continuamente crescenti, a cui vanno aggiunte le significative difficoltà e criticità legate agli adempimenti burocratici necessari alle spedizioni di rifiuti (in molti casi si registrano differenti interpretazioni da parte delle Autorità competenti sulla classificazione dei rifiuti – lista verde o lista ambra – o contestazioni sulla natura del carico).

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) prevede nella Missione 2 "Rivoluzione verde e transizione ecologica" componente 1, la "realizzazione di nuovi impianti e ammodernamento degli impianti esistenti per il riciclo e la chiusura del ciclo dei rifiuti con la produzione di materie prime secondarie". Grazie all'immissione di fondi, si potranno superare diverse problematiche legate

all'infrastruttura impiantistica come la presenza di flussi paralleli di rifiuti e di pratiche di smaltimento illegale. La corretta e completa gestione, orientata al riciclo anziché allo smaltimento dei RAEE rappresenta un'enorme opportunità non solo in termini occupazionali, ma soprattutto un importante risultato strategico per il sistema Italia tramite il recupero di materie prime e materiali critici di grande interesse che contrariamente dovrebbero essere importati.

La rassegna di filiera AEE del GdL 4 nasce anche con l'obiettivo di raccogliere buone pratiche italiane ed europee al fine di individuare le azioni da mettere in atto per la costruzione di una strategia di transizione che chiuda il ciclo della filiera AEE. Le numerose buone pratiche selezionate sui siti ICESP ed ECESP sono un elenco di diverse campagne di sensibilizzazione, di sviluppo di politiche e azioni, progetti sociali, ma anche di attività che coinvolgono le diverse fasi del ciclo produttivo degli AEE (approvvigionamento, design, produzione, distribuzione, consumo, raccolta e riciclo).

Dall'analisi delle BP si evince che per supportare le politiche di transizione circolare bisogna integrare le soluzioni di tipo *top down*, messe a punto da parte del governo centrale tramite regolamentazioni, incentivi economici e servizi per indurre comportamenti virtuosi (come sottolinea la Strategia Nazionale dell'Economia Circolare), con soluzioni di tipo *bottom up*, promuovendo la partecipazione attiva da parte di associazioni e cittadini attraverso, attività di sensibilizzazione per la dismissione corretta dei RAEE.

L'importanza di adottare soluzioni di tipo bottom up viene sottolineata dall'analisi dei dati della ricerca fatta da Ipsos per conto di ERION su un campione di 1.400 cittadini italiani dai 18 ai 75 anni. Sebbene ci siano dati non confortanti soprattutto a livello di smaltimento di RAEE, che si acuisce se gli intervistati sono ragazzi dai 18 ai 26 anni, il 35% degli italiani chiede di aumentare le iniziative di comunicazione e le campagne informative, mentre il 32% vorrebbe veder riportate sui prodotti informazioni chiare circa le modalità di conferimento del rifiuto. Tra i principali incentivi alla corretta dismissione, invece, spicca la presenza di un punto di raccolta vicino a casa (28%)¹²⁸.

Informazione, sensibilizzazione dei cittadini insieme ad una maggiore presenza di punti di raccolta sono linee di intervento che permetterebbero di chiudere l'intero ciclo della filiera degli AEE affrontando il più rapidamente possibile il crescente problema dei RAEE con azioni efficaci ed a lungo termine.

¹²⁸ <https://erion.it/it/news/una-miniera-in-ogni-casa-nella-ricerca-ipsos-erion-il-difficile-rapporto-tra-gli-italiani-e-i-raee/>