

TECNOLOGIE DIGITALI PER IL RECUPERO DEI RAEE: UN'OPPORTUNITÀ PER L'ECONOMIA CIRCOLARE



Materiali informativi realizzati da DINTEC – Agenzia in house del Sistema camerale, nell'ambito dell'Accordo di collaborazione istituzionale Unioncamere – MASE per le iniziative info-formative previste nel PNRR – Missione 2 “Rivoluzione verde e transizione ecologica” - Investimento 3.3 “Cultura e consapevolezza su temi e sfide ambientali”.

Supporto tecnico



DINTEC
CONSORZIO PER L'INNOVAZIONE
TECNOLOGICA

PREMESSA

Il Decreto legislativo 14 marzo 2014, n. 49, Attuazione della direttiva 2012/19/UE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) in vigore dal 12/04/2014 fornisce la definizione dei Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche che nell'art. 4 lettera e) sono indicati come "le apparecchiature elettriche o elettroniche che sono rifiuti ai sensi dell'articolo 183, comma 1, lettera a), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, inclusi tutti i componenti, sottoinsiemi e materiali di consumo che sono parte integrante del prodotto al momento in cui il detentore si disfi, abbia l'intenzione o l'obbligo di disfarsene". In tale elenco rientrano gli oggetti con dimensioni esterne inferiori a 25 cm.

Esistono varie categorie, come evidenzia ancora l'art. 4 del D. Lgs. 14 marzo 2014, n. 49:

1. **RAEE provenienti dai nuclei domestici** — tra cui anche "i rifiuti originati da pannelli fotovoltaici installati in impianti di potenza nominale inferiore a 10 KW" — e di origine commerciale, industriale, istituzionale o di altra tipologia, simili per quantità e natura, a quelli dei nuclei domestici
2. **RAEE professionali**, diversi da quelli provenienti dai nuclei domestici tra cui anche "tutti i rifiuti derivanti da pannelli fotovoltaici installati in impianti di potenza nominale superiore o uguale a 10 KW"
3. **RAEE equivalenti**, ossia "ritirati a fronte della fornitura di una nuova apparecchiatura, che abbiano svolto la stessa funzione dell'apparecchiatura fornita"
4. **RAEE storici**, ossia "derivanti da apparecchiature elettriche ed elettroniche immesse sul mercato prima del 13 agosto 2005"

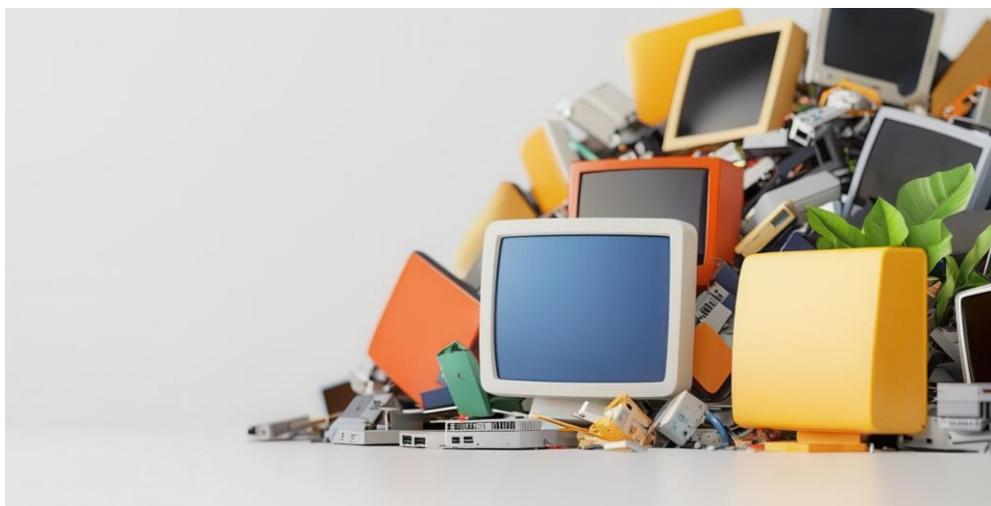
I RAEE sono identificati dal Catalogo Europeo dei Rifiuti - CER, ossia l'elenco di codici utilizzati per la classificazione nell'UE. Si tratta di sequenze numeriche composte da sei cifre, che identificano la tipologia del prodotto di scarto, l'origine e i possibili rischi per l'uomo e per l'ambiente.

I rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche, infatti, rappresentano spesso un pericolo per la salute, dal momento che possono contenere alcuni elementi e metalli tossici tra cui piombo e mercurio. D'altro canto, però, rappresentano ad oggi un'immensa fonte di risorse, poiché dagli scarti è possibile estrarre elementi come le terre rare ed altri tra cui alluminio, argento, ferro, gallio, indio, oro, palladio, rame, e componenti elettronici. Questi, se recuperati, possono essere reimmessi nel ciclo produttivo, evitando l'estrazione di nuove materie prime vergini.

A tal proposito il paper di 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" (2022), evidenzia come l'operazione di recupero dei RAEE riduca la fornitura di materie prime e il costo delle importazioni con un vantaggio economico di 14 milioni di euro oltre alla diminuzione, secondo le stime, di più di 1 milione di tonnellate di CO₂, grazie all'aumento del tasso di raccolta dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche.

Ecco, allora, alcuni esempi di RAEE, come specificato nell'allegato III del D. Lgs. 14 marzo 2014, n. 49:

1. **Lampade;**
2. **Apparecchiature per lo scambio di temperatura;**
3. **Apparecchiature di piccole dimensioni** con nessuna dimensione esterna superiore a 50 cm;
4. **Apparecchiature dotate di schermi** che abbiano superficie superiore a 100 cm² ;
5. **Piccole apparecchiature informatiche** e per le telecomunicazioni con nessuna dimensione esterna superiore a 50 cm;
6. **Apparecchiature di grandi dimensioni** con almeno una dimensione esterna superiore a 50 cm, tra cui elettrodomestici, apparecchiature informatiche per le telecomunicazioni e per la generazione di corrente elettrica, lampadari, apparecchiature musicali e per riprodurre suoni o immagini, giocattoli e apparecchiature per il tempo libero e sport, dispositivi medici e strumenti di monitoraggio e di controllo, distributori automatici.



I RAEE, oltre a essere identificati dai codici CER, sono riconoscibili, come riporta il sito ufficiale dell'Unione Europea, dal marchio RAEE, recante l'immagine di una pattumiera con una croce sopra, indicante che l'oggetto non deve essere smaltito come rifiuto indifferenziato, ma deve essere destinato a idonee strutture di raccolta per il recupero ed eventuale riciclaggio.

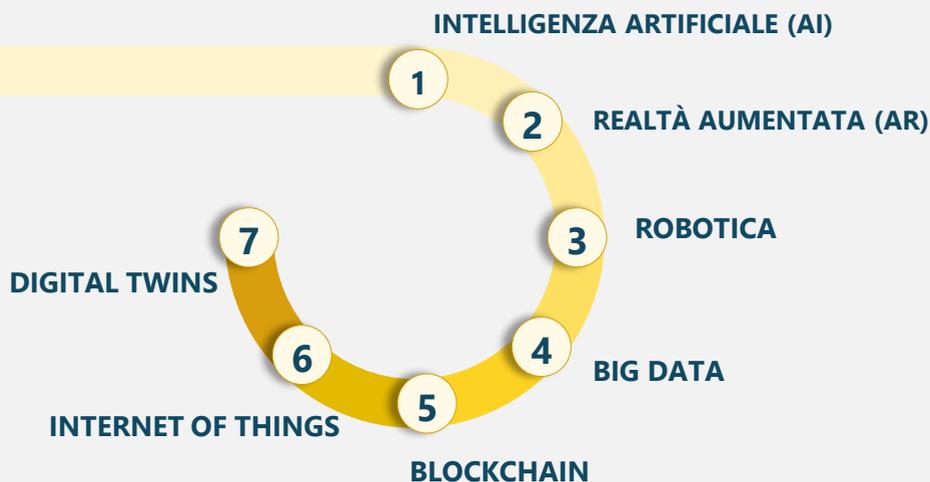
Il marchio RAEE deve comparire su tutte le apparecchiature elettriche ed elettroniche immesse nel mercato europeo. Inoltre, quelle introdotte dopo il 13 agosto 2005 — nel rispetto della precedente Direttiva 2002/96/CE del 27 gennaio 2003 sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) — possono presentare l'immagine di una pattumiera con una croce sopra e, in aggiunta, devono riportare una riga sotto tale simbolo e la data di immissione nel mercato dell'UE, affinché siano trattate secondo specifiche procedure di raccolta, recupero e riciclaggio.

LE TECNOLOGIE PER RECUPERARE RISORSE DAI RAEE

Secondo il **The Global E-waste Monitor 2024 realizzato da UNITAR** - Istituto delle Nazioni Unite per la formazione e la ricerca, ITU - Unione internazionale delle telecomunicazioni e Fondation Carmignac, nel 2022 nel mondo sono stati generati **62 miliardi di kg di rifiuti elettronici** — si stima che solo il **22,3% sia stato riciclato** — per una media di 7,8 kg pro capite, e tale dato aumenterà fino a 82 miliardi di kg entro il 2030. Per tale motivo è necessario che i RAEE siano raccolti, selezionati in base al tipo di apparecchiatura, suddivisi nelle giuste categorie e successivamente smontati per recuperare alcune componenti al loro interno.

La gestione dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche risulta molto complessa, poiché molti non sono accuratamente smistati e potrebbero essere esportati illegalmente. L'implementazione di sistemi efficienti per il corretto smaltimento è onerosa, e molto spesso né le aziende né i consumatori sono informati su quanto siano inquinanti i RAEE.

Inoltre, i meccanismi di riciclo si basano su processi poco produttivi e poco redditizi. Tuttavia, oggi, **le nuove tecnologie**, dall'Intelligenza Artificiale, ai digital twins, ossia repliche digitali di oggetti fisici che permettono una riduzione di errori nella separazione dei materiali da riciclare grazie ad analisi predittive, consentono di **recuperare le risorse dai RAEE** molto più rapidamente, in modo funzionale e poco energivoro.



1. INTELLIGENZA ARTIFICIALE (AI)

L'intelligenza artificiale è uno degli **strumenti più validi** per il recupero dei RAEE: algoritmi a base AI ottimizzano la gestione degli scarti, analizzando grandi quantità di dati per prevedere i flussi futuri di rifiuti e migliorando la pianificazione logistica e tutti i processi di riciclo.

Inoltre, grazie all'intelligenza artificiale è possibile creare e sviluppare sistemi di riconoscimento visivo, che classificano in modo automatizzato i diversi tipi di RAEE in modo rapido e preciso, evitando che ci siano guasti e rallentamenti o inefficienze negli impianti di raccolta e smistamento.

Oltre a ciò, **chatbot basati sull'AI** – il più noto e utilizzato a oggi è *ChatGpt* – offrono un valido supporto nella classificazione dei rifiuti, rispondendo a domande sul corretto smaltimento dei rifiuti, identificando il tipo di prodotto e la presenza - o meno - di possibili sostanze pericolose agli operatori delle discariche e di inceneritori.

2. REALTÀ AUMENTATA (AR)

La Realtà Aumentata - Augmented Reality (AR) - è una tecnologia che migliora il processo di raccolta, smistamento e riciclaggio dei rifiuti elettronici grazie a sistemi avanzati di riconoscimento dei materiali, indicando il metodo più efficace di recupero. Ma non solo, offre un valido aiuto anche Agli operatori ecologici i quali, tramite simulazioni interattive, possono:

- ❑ avere **supporto da remoto** in caso di necessità;
- ❑ **diagnosticare guasti** nei macchinari nei centri di raccolta e smistamento;
- ❑ **gestire le emergenze**, tra cui incendi o fuoriuscite di materiale altamente inquinante e nocivo per la salute umana;
- ❑ **ridurre i tempi di inattività** nelle operazioni di disassemblaggio o riparazione di macchinari elettronici, consultando in tempo reale le istruzioni per risolvere l'inefficienza tramite visori AR;
- ❑ **ricevere addestramento sull'utilizzo** di nuove apparecchiature che estrapolano le diverse componenti dai RAEE.

3. ROBOTICA

L'automazione e la robotica stanno trasformando le operazioni di riciclo dei RAEE. I robot sono in grado di smontare dispositivi elettronici complessi, riconoscendo e separando componenti e materiali più facilmente, tramite distinzione anche per peso, colore e forma. Tale operazione consente un **tasso di recupero di metalli e altri materiali riutilizzabili maggiore e riduce la quantità di rifiuti che andrebbero in discarica**, oltre ai costi operativi e di gestione.

Se integrati con l'AI, i robot possono incrementare la loro operatività: **bracci robotici dotati di visione artificiale** possono classificare i RAEE nel minor tempo possibile ed eseguire il disassemblaggio delle componenti, riducendo il margine di errore e i rischi per la salute. A tal proposito, l'UE ha finanziato la ricerca Recon Cycle, condotta dal 2020 al 2024, che ha portato alla creazione di robot integrati con intelligenza artificiale che svolgono compiti diversi per semplificare la dismissione e il riciclo dei RAEE.

4. BIG DATA

Grazie all'analisi dei big data, dei maggiori trend di consumo e al comportamento dei consumatori, nell'uso di dispositivi elettronici, è possibile:

- ❑ **analizzare una grande mole di informazioni** per poter ottimizzare lo smistamento automatico dei materiali e la tracciabilità del ciclo di vita dei prodotti;
- ❑ facilitare il **ritiro** dei rifiuti elettronici;
- ❑ stimare una **previsione sulla quantità** e volume di RAEE generati in un determinato arco di tempo.

Lo studio dei big data, se integrato anche con l'AI e **sistemi di machine learning**, consente di rendere l'intero sistema più predittivo e trasparente, consentendo una pianificazione mirata e senza sprechi lungo tutta la filiera dei RAEE.

5. BLOCKCHAIN

Le tecnologie di tracciabilità, in particolare quelle basate sui sistemi di blockchain, devono essere **integrate** per garantire maggiore trasparenza e sicurezza durante tutto il ciclo di vita di un dispositivo elettronico. Tutte le informazioni, dall'origine alla durabilità, possono essere registrate direttamente sul prodotto e tale operazione garantisce che vengano rispettate le normative, evitando frodi, falsificazioni dei dati ed esportazioni illegali dei RAEE.

In questo frangente l'UE con Il **Regolamento (UE) 2024/1781** che stabilisce il quadro per la definizione dei requisiti di progettazione ecocompatibile per prodotti sostenibili — più comunemente noto come Regolamento Ecodesign 2024, ESPR — introduce, entro il 2030, **l'utilizzo del Passaporto Digitale dei Prodotti (DPP)**, che informa i consumatori sul ciclo di vita di un prodotto: dall'origine ai materiali che lo compongono, dall'utilizzo alle opzioni di riparazione, attraverso **QR Code, NFC, Near Field Communication, e RFID, Radio Frequency Identification**. Si tratta di due tecnologie che hanno funzioni diverse:

1. la prima, **NFC**, garantisce una connettività wireless a corto raggio bidirezionale utilizzata per lo scambio di informazioni tra due o più dispositivi, come ad esempio tra smartphone,
2. la seconda, **RDIF**, si qualifica come un sistema di identificazione e memorizzazione di dati a più lunga distanza tra dispositivi tramite etichette, molto utilizzato nel settore della logistica.

6. INTERNET OF THINGS

L'IoT, Internet of Things, comprende tutti i dispositivi e oggetti connessi a una rete internet provvisti di sensori, software e altre tecnologie che ricevono e scambiano dati grazie a cui è possibile monitorare in tempo reale il funzionamento di un apparecchio elettronico. Applicare questo sistema al mondo dei RAEE permette una gestione intelligente dei rifiuti, dal momento che ne ottimizza la raccolta e riesce a individuare il numero di cassonetti pieni e la quantità di rifiuti elettronici da smaltire.

Una delle tecnologie emergenti più innovative è costituita dagli "Smart Bins", ossia cassonetti intelligenti dotati di particolari sensori che monitorano in tempo reale il livello e la frequenza dei rifiuti. I dati raccolti sono poi inviati tramite rete wireless a dei software specifici che li elaborano per un monitoraggio efficace dei rifiuti, evitando l'accumulo di RAEE anche al di fuori della pattumiera e stabilendo qual è il momento migliore per ritirarli.

Un esempio virtuoso è quello del progetto pilota InnoWEEE, coordinato da ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, a Cava de' Tirreni (SA) dal luglio 2018 a giugno 2021. Tale progetto viene menzionato nel sito ufficiale di Italian Circular Economy Stakeholder Platform, ICESP, iniziativa promossa dall'ENEA che monitora e coordina le attività nell'ambito dell'economia circolare favorendo il dialogo tra imprese, istituzioni, associazioni e cittadini.

La campagna ha coinvolto tutta la popolazione e ha previsto l'installazione di Smart Bins per la raccolta di RAEE del Raggruppamento R4, pile portatili e lampadine a fine vita in quattro punti strategici della città.

L'installazione di tali contenitori, grazie a un sistema di riconoscimento elettronico, ha permesso ai cittadini cavesi di ricevere informazioni ambientali in merito al conferimento dei propri rifiuti. Dai risultati ottenuti è stato registrato un aumento del tasso di raccolta dei RAEE da 2,6 kg/abitante nel 2018 a 3,4 kg/abitante nel 2020.

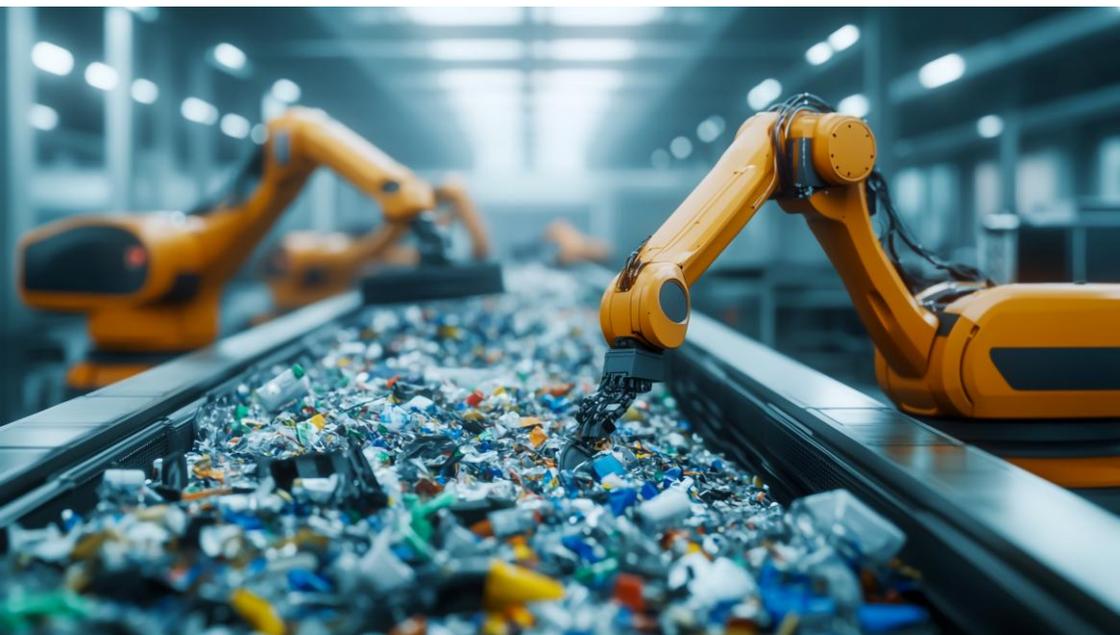
7. DIGITAL TWINS

I digital twins, ossia i gemelli digitali, sono delle repliche virtuali di oggetti fisici o sistemi che simulano e ottimizzano il loro comportamento nel mondo reale, utilizzando dati provenienti da sensori e altri dispositivi elettronici per replicarne le funzioni. Se integrati a modelli predittivi di algoritmi di AI o provenienti da dispositivi IoT, i digital twins consentono di migliorare la produttività, ridurre gli sprechi, ottimizzare nuovi processi di riciclo prima della nuova implementazione fisica in impianti di raccolta e smistamento, individuando i punti critici delle strutture in funzione e in allestimento e prevedendo anche possibili futuri malfunzionamenti.

L'IMPORTANZA DELLE NUOVE TECNOLOGIE PER LA RACCOLTA, IL RECUPERO E IL RICICLO DEI RAEE

Le tecnologie digitali emergenti stanno rivoluzionando il modo in cui vengono recuperate le componenti dai RAEE, dalla raccolta al disassemblaggio dei materiali all'interno delle apparecchiature elettriche ed elettroniche, dalla riduzione dell'estrazione delle materie prime allo sviluppo di nuovi modelli di business circolari, in vista di un'economia sempre più circolare.

AI, AR, robotica, big data, blockchain, IoT e digital twins trasformano un possibile rischio per l'ambiente a causa delle componenti pericolose presenti nei RAEE, in **un'opportunità sinergica per il recupero delle risorse ricavate dai rifiuti** da apparecchiature elettriche ed elettroniche in modo pratico, vantaggioso e sostenibile.





MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA



UNIONCAMERE