

TECNOLOGIA E INNOVAZIONE NEL RICICLO

Dietro il riciclo c'è un'industria ad alta tecnologia

Nel dicembre 2025 il *Corriere della Sera* ha raccontato il primato italiano nel riciclo partendo da un dato di Eurostat, l'Ufficio statistico dell'Unione europea, particolarmente significativo: nel 2022, considerando il complesso dei rifiuti trattati nel Paese, l'85,6% è stato sottoposto a riciclo, la quota più alta registrata nell'Unione europea. È un indicatore diverso dal tasso di riciclaggio dei soli rifiuti urbani e va quindi letto con attenzione, ma restituisce comunque l'importanza che l'industria del recupero ha assunto nel sistema produttivo italiano.

Dietro questi risultati non ci sono soltanto una buona raccolta differenziata e il lavoro degli operatori. Il riciclo contemporaneo è un settore industriale nel quale entrano in gioco meccanica, chimica, sensoristica, automazione, analisi dei materiali e, sempre più spesso, sistemi digitali e intelligenza artificiale. Un impianto moderno deve riuscire a riconoscere materiali diversi all'interno di flussi molto eterogenei, separarli con precisione, eliminare le sostanze indesiderate e ottenere alla fine materiali con caratteristiche sufficientemente costanti da poter essere utilizzati nuovamente dall'industria.

Nel 2024, secondo ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), in Italia erano operativi **625 impianti dedicati alla gestione dei rifiuti urbani**. Nello stesso anno il tasso di preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio dei rifiuti urbani ha raggiunto il 52,3%, in crescita rispetto al 50,8% del 2023. Sono dati che mostrano come il sistema del riciclo sia ormai una vera infrastruttura industriale del Paese, anche se rimangono differenze territoriali e margini di miglioramento.

Fonte dell'articolo: Corriere della Sera, "Riciclo, il primato è Made in Italy", 11 dicembre 2025

Come fa un impianto a riconoscere ciò che deve recuperare?

Nella scheda precedente abbiamo seguito il viaggio di un rifiuto fino all'impianto. Entrando dentro lo stabilimento, il processo diventa più complesso. Prima di iniziare il trattamento, il materiale deve essere controllato e caratterizzato. Successivamente può essere triturato o suddiviso per dimensione, fatto scorrere su nastri trasportatori e sottoposto a diversi sistemi di separazione. Non esiste una macchina capace di riconoscere e riciclare indistintamente qualsiasi rifiuto: tecnologie diverse vengono combinate in base al materiale in ingresso e al risultato che si vuole ottenere.

Per separare i **metalli ferrosi** si possono utilizzare magneti; per quelli non ferrosi, come l'alluminio, esistono invece separatori a correnti indotte. Altri sistemi distinguono i materiali in base alla dimensione, al peso o alla densità. Le tecnologie ottiche permettono di compiere un passaggio ancora più sofisticato: riconoscere automaticamente il materiale che passa velocemente su un nastro.

Un esempio è la tecnologia **NIR (spettroscopia nel vicino infrarosso)**. Questo sistema analizza il modo in cui un materiale interagisce con la radiazione infrarossa e permette, per esempio, di distinguere differenti tipi di plastica. Il sensore identifica il materiale, un sistema informatico elabora l'informazione e appositi getti d'aria possono separare automaticamente gli oggetti selezionati dal resto del flusso. In altri casi vengono

utilizzati sistemi a raggi X, utili quando occorre riconoscere materiali attraverso caratteristiche che non sono immediatamente visibili.

Queste tecniche non sono semplici esperimenti di laboratorio. Le **BAT (migliori tecniche disponibili)**, definite a livello europeo per il trattamento dei rifiuti, comprendono proprio tecnologie come la separazione magnetica, la separazione per densità, la vagliatura, la spettroscopia nel vicino infrarosso e i sistemi a raggi X.

Dopo la selezione, il processo cambia nuovamente in base alla filiera. Alcuni materiali vengono macinati, lavati e trasformati attraverso procedimenti meccanici; altri richiedono trattamenti termici o chimici.

Un'applicazione concreta di questi processi si trova anche all'interno del Gruppo Haiki+, in un impianto specializzato nel trattamento delle plastiche eterogenee provenienti dai RAEE. Attraverso successive fasi di pulizia, raffinazione e separazione, materiali plastici diversi come PS, ABS, PP e PE vengono distinti e valorizzati, fino a ottenere materiali destinati a nuove lavorazioni industriali.

Nei laboratori di ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), vengono per esempio studiati processi idrometallurgici per recuperare metalli da materiali complessi, tecnologie per il trattamento dei pannelli fotovoltaici a fine vita e soluzioni per trasformare alcune plastiche recuperate in filamenti destinati anche alla stampa tridimensionale. Il riciclo non è quindi una singola tecnologia, ma un insieme di processi differenti che continuano a evolversi.

Sensori, robot e intelligenza artificiale

La capacità di riconoscere con precisione i materiali è uno dei campi nei quali la ricerca sta avanzando più rapidamente. Alle tecnologie ottiche tradizionali si stanno affiancando sistemi di **visione artificiale, apprendimento automatico e intelligenza artificiale**, capaci di analizzare immagini o segnali prodotti dai sensori e classificare gli oggetti che scorrono sui nastri.

Una rassegna scientifica pubblicata nel 2026 sulla rivista internazionale *Waste Management* ha analizzato 112 studi pubblicati tra il 2015 e il 2025 sull'impiego dell'intelligenza artificiale nella classificazione dei rifiuti plastici. La ricerca mostra come tecniche di *machine learning* e *deep learning* possano essere integrate con diversi strumenti di analisi dei materiali. Tra questi troviamo la tecnologia NIR e la **FTIR (spettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier)**, insieme alla spettroscopia Raman. Questi sistemi possono aiutare a distinguere differenti polimeri e migliorare la qualità della selezione.

La ricerca evidenzia però anche i problemi ancora da risolvere: la qualità dei dati utilizzati dagli algoritmi, la presenza di oggetti sporchi o deformati, la velocità delle linee industriali e la difficoltà di trasferire su larga scala tecnologie sperimentate in condizioni controllate. L'innovazione non elimina quindi automaticamente tutte le difficoltà. Un sensore può diventare più preciso, un algoritmo può imparare a distinguere un numero crescente di materiali e un robot può effettuare selezioni sempre più rapide, ma il risultato finale dipende anche dalla qualità del rifiuto in ingresso e dalle caratteristiche richieste al materiale recuperato.

Anche l'attività brevettuale mostra quanto questo campo sia dinamico. L'EPO (Ufficio europeo dei brevetti) ha analizzato quasi **13.000 invenzioni** relative al recupero, alla separazione e al riciclo della plastica. Negli ultimi trent'anni l'Europa ha rappresentato il 44% dell'attività brevettuale mondiale del settore, con Germania, Francia, Italia e Regno Unito tra i Paesi che contribuiscono maggiormente allo sviluppo di queste

tecnologie. Negli anni più recenti è cresciuto anche l'impiego dell'intelligenza artificiale nei sistemi destinati alla selezione dei materiali.

Dalla ricerca al brevetto

Un brevetto nasce quando viene sviluppata una nuova soluzione tecnica che può trovare applicazione industriale e che presenta i requisiti necessari per essere protetta. Nel campo del riciclo può riguardare un processo chimico, un sistema di separazione, un macchinario oppure una particolare combinazione di tecnologie.

Uno dei settori nei quali la ricerca sta accelerando maggiormente è quello delle **batterie**. Nell'aprile 2026 l'EPO e la IEA (Agenzia internazionale dell'energia) hanno pubblicato uno studio basato su circa 16.000 invenzioni relative alla circolarità delle batterie. Tra il 2017 e il 2023 le famiglie internazionali di brevetti in questo campo sono cresciute in media del 42% all'anno. Le innovazioni riguardano la raccolta e la selezione delle batterie esauste, il loro riutilizzo, il riciclo e il recupero dei materiali contenuti al loro interno.

Anche in Italia ricerca pubblica e industria lavorano insieme. Già nel 2014 il CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) e Cobat avevano avviato una collaborazione per sviluppare una tecnologia dedicata al recupero dei materiali presenti nelle batterie al litio. Quel percorso ha portato successivamente allo sviluppo di un processo brevettato basato su trattamenti meccanici e idrometallurgici. Haiki+ indica questa tecnologia tra quelle alla base di Cobat Ecofactory, impianto dedicato al trattamento e al riciclo delle batterie e degli accumulatori al litio. È un esempio concreto di come una ricerca possa trasformarsi, nel corso degli anni, in applicazione industriale.

Un altro esempio arriva da ENEA, che ha realizzato un **Hub tecnologico per l'Urban Mining e l'Ecodesign delle materie prime critiche**, articolato in sei laboratori nei centri di Brindisi, Casaccia e Faenza. Le attività comprendono trattamenti fisico-meccanici e idrometallurgici, tecnologie per la selezione dei **RAEE (Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche)** e processi destinati al recupero di materiali come litio, neodimio e silicio.

Un ulteriore esempio concreto è Haiki Electrics, divisione del Gruppo Haiki+ specializzata nel trattamento dei RAEE. Nei suoi impianti le apparecchiature a fine vita vengono messe in sicurezza, smontate e trattate attraverso processi specifici che permettono di separare e recuperare diverse frazioni, tra cui metalli, vetro e plastiche, avviandole alle successive fasi di valorizzazione.

Un'eccellenza italiana, ma non in tutte le filiere

Dire che l'Italia eccelle nel riciclo non significa che ogni rifiuto venga recuperato allo stesso modo o che il nostro Paese sia sempre primo in ogni settore. I diversi indicatori misurano infatti aspetti differenti e devono essere letti nel loro contesto.

Secondo Eurostat, nel 2022 l'Italia registrava la quota più elevata dell'Unione europea di riciclo sul totale dei rifiuti trattati, pari all'85,6%. Per i soli rifiuti urbani, invece, la situazione è più articolata: nel 2023 l'Italia faceva parte del gruppo dei Paesi europei che avevano raggiunto o superato il 50% di riciclaggio, mentre la Germania si collocava intorno al 69%.

I dati italiani più recenti di ISPRA indicano che nel 2024 il riciclaggio dei rifiuti urbani ha raggiunto il **52,3%**. Nello stesso anno la raccolta differenziata è arrivata al 67,7%. Torna quindi una distinzione importante già incontrata nella scheda precedente: raccogliere separatamente un rifiuto non significa necessariamente riuscire a riciclarlo completamente. Tra la raccolta e il riciclo c'è proprio il lavoro degli impianti, che devono trasformare ciò che ricevono in materiali sufficientemente puri e di qualità.

La forza dell'Italia risiede quindi in un sistema industriale del riciclo molto sviluppato e in numerose filiere consolidate. Altri ambiti, come le plastiche più complesse, i tessili, i RAEE e le batterie di nuova generazione, richiedono invece ulteriori investimenti e innovazioni. È soprattutto in questi casi che le tecnologie di riconoscimento, separazione e trattamento possono determinare quanto materiale sarà effettivamente recuperato.

Innovazione significa anche sicurezza e tracciabilità

Un impianto avanzato non deve soltanto recuperare grandi quantità di materiali. Deve sapere **che cosa sta entrando, come viene trattato e che cosa esce dal processo**, garantendo allo stesso tempo la sicurezza delle persone e dell'ambiente.

Le migliori tecniche disponibili definite a livello europeo prevedono procedure di controllo dei rifiuti in ingresso, sistemi di monitoraggio delle emissioni e specifiche precauzioni per alcune lavorazioni. Negli impianti che triturano rifiuti metallici, per esempio, devono essere individuati e rimossi oggetti pericolosi che potrebbero provocare incidenti. Nel trattamento di particolari RAEE sono invece necessari controlli su componenti o sostanze come mercurio e fluidi refrigeranti. Non si tratta quindi soltanto di mettere in funzione un macchinario: il processo industriale deve essere costantemente monitorato.

Anche la **tracciabilità** sta diventando sempre più digitale. In Italia il RENTRI (Registro Elettronico Nazionale per la Tracciabilità dei Rifiuti) introduce una gestione informatica dei registri e dei formulari che accompagnano i rifiuti e permette di rendere più tracciabili i flussi lungo la filiera. Nel luglio 2026 il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica ha inoltre aperto sul portale una sezione pubblica con dati aggregati sui rifiuti prodotti, movimentati e gestiti e sui materiali che hanno cessato di essere classificati come rifiuti.

La digitalizzazione permette così di collegare ciò che accade dentro l'impianto alle informazioni che accompagnano il materiale prima e dopo il trattamento. Sapere da dove proviene un rifiuto, quanto ne è stato trattato e quale destinazione ha avuto ciò che è stato recuperato diventa parte integrante di una filiera industriale moderna.

E se la miniera fosse una vecchia discarica?

Una delle frontiere più curiose della ricerca sull'economia circolare riguarda il **landfill mining**, letteralmente "estrazione mineraria dalla discarica". L'idea parte da una domanda: se per decenni abbiamo accumulato materiali nelle discariche, è possibile tornare in alcuni di questi siti, scavare i rifiuti depositati e recuperare ciò che oggi può avere nuovamente valore?

Un esempio concreto in Italia è quello di **Haiki Mines, divisione del Gruppo Haiki+**, che sta sviluppando progetti di landfill mining con l'obiettivo di considerare le discariche non più soltanto come luoghi di smaltimento definitivo, ma come potenziali **"miniere di materia"**. Attraverso la rimozione dei rifiuti

precedentemente depositati, la loro selezione e la valorizzazione delle frazioni recuperabili, il landfill mining può consentire al tempo stesso di **recuperare volumetrie della discarica**. Un esempio di come tecnologie e processi di recupero possano modificare nel tempo anche il ruolo degli impianti di smaltimento. Il procedimento può prevedere lo scavo dei materiali, la loro caratterizzazione e successivamente la separazione delle diverse frazioni. Metalli e altri materiali recuperabili possono essere avviati a trattamento, mentre l'intervento può contemporaneamente contribuire alla bonifica o alla riqualificazione del sito. In questa prospettiva una vecchia discarica diventa, almeno in parte, un deposito di risorse che le tecnologie del passato non erano in grado di recuperare.

È però importante non presentare il landfill mining come una soluzione già applicabile ovunque. Il JRC (Centro comune di ricerca della Commissione europea) sottolinea che le esperienze su scala industriale sono ancora limitate e che la convenienza economica e ambientale deve essere valutata caso per caso. Spesso la motivazione principale di questi interventi è la bonifica del territorio o il recupero dell'area, mentre il valore dei materiali estratti rappresenta un possibile beneficio aggiuntivo.

Il landfill mining mostra comunque quanto rapidamente possa cambiare il concetto stesso di rifiuto. Materiali che in passato non potevano essere separati o non avevano un mercato possono acquisire nuovo interesse grazie a tecnologie diverse, nuovi bisogni industriali e migliori capacità di recupero. La discarica rimane l'ultima opzione nella gerarchia europea dei rifiuti, ma persino ciò che vi è stato depositato in passato può diventare oggetto di ricerca e innovazione.

Attività – Progettiamo l'impianto di riciclo del futuro

La classe immagina di dover progettare una nuova linea di selezione per un flusso composto da plastica, carta, ferro, alluminio e alcuni materiali estranei. Il punto di partenza è una domanda semplice: **come può una macchina capire che cosa ha davanti?**

Gli studenti osservano le proprietà dei diversi materiali e associano a ciascuna un possibile sistema di riconoscimento. Un magnete permette di individuare i metalli ferrosi, la dimensione può essere utilizzata per separare oggetti differenti, la densità può distinguere materiali più o meno pesanti, mentre sensori ottici e sistemi NIR possono riconoscere materiali che a occhio sembrano molto simili. La classe ricostruisce quindi una possibile sequenza dell'impianto, decidendo in quale ordine collocare le diverse tecnologie e spiegando le proprie scelte.

A questo primo progetto viene aggiunto un secondo livello: il controllo digitale. Ogni gruppo stabilisce quali informazioni sarebbe utile registrare all'ingresso e all'uscita dell'impianto, come quantità, origine e tipologia del rifiuto, percentuale recuperata e destinazione dei materiali ottenuti. Si costruisce così una piccola versione scolastica di un sistema di tracciabilità.

Il lavoro può essere confrontato con un vero impianto attraverso immagini, video o una visita. L'obiettivo non è verificare chi abbia progettato la macchina "giusta", ma scoprire quali soluzioni vengono realmente utilizzate e quali problemi devono risolvere gli ingegneri: materiali molto simili, oggetti sporchi, componenti pericolosi, velocità dei nastri e qualità del materiale finale.

Ogni gruppo conclude immaginando **un'innovazione per l'impianto del 2035**: un nuovo sensore, un robot, un sistema di intelligenza artificiale o un metodo per recuperare un materiale che oggi viene ancora perso. L'idea deve partire da un problema concreto osservato durante l'attività. In questo modo il riciclo appare

per quello che è sempre di più: non soltanto un comportamento ambientale, ma un campo nel quale ricerca scientifica, ingegneria e innovazione industriale lavorano insieme.

Fonti

- **CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche)** – Accordo CNR-Cobat per il riciclo delle batterie al litio
- **Commissione europea – EUR-Lex** – Migliori tecniche disponibili per il trattamento dei rifiuti
- **EEA (Agenzia europea dell'ambiente)** – Waste recycling in Europe
- **ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile)** – Hub tecnologico per le materie prime critiche
- **ENEA** – Laboratori e infrastrutture di ricerca per l'economia circolare
- **EPO (Ufficio europeo dei brevetti)** – Battery circularity: inventions in battery reuse and recycling
- **EPO** – Plastics in transition
- **Eurostat** – Dati sul trattamento dei rifiuti nell'Unione europea
- **Haiki+** – Innovazione e sviluppo
- **ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)** – Rapporto Rifiuti Urbani 2025
- **JRC (Centro comune di ricerca della Commissione europea)** – Recovery of critical and other raw materials from mining waste and landfills
- **RENTRI (Registro Elettronico Nazionale per la Tracciabilità dei Rifiuti)** – Area pubblica dei dati sulla tracciabilità dei rifiuti
- **Waste Management** – AI-based plastic waste classification for sorting purposes